

**INTEGRAÇÃO DE DADOS LIDAR COM IMAGENS DE MUITO ALTA  
RESOLUÇÃO ESPACIAL PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS URBANAS COM  
POTENCIAL SOLAR**

**Nuno Miguel Pereira Gomes**

**Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, área de  
especialização em Detecção Remota e SIG**

**Março de 2011**

Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, elaborada no âmbito do projecto *GeoSat - Methodologies to extract large scale GEOgraphical information from very high resolution SATellite images* (PTDC/GEO/64826/2006), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, em curso no e-GEO — Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, e no quadro dos trabalhos de investigação do Grupo de *Modelação Geográfica, Cidades e Ordenamento do Território*.



Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território, área de especialização em Detecção Remota e SIG, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José António Tenedório e co-orientação do Doutor Miguel Centeno Brito e da Mestre Teresa Santos

## DECLARAÇÃO

Declaro que esta Dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

O candidato,

---

Lisboa, .... de ..... de .....

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apresentada a provas públicas.

O orientador,

---

Lisboa, .... de ..... de .....

## DECLARAÇÃO

Declaro que esta Dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

O candidato,

---

Lisboa, .... de ..... de .....

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apresentada a provas públicas.

O co-orientador,

---

Lisboa, .... de ..... de .....

## DECLARAÇÃO

Declaro que esta Dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

O candidato,

---

Lisboa, .... de ..... de .....

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apresentada a provas públicas.

O co-orientador,

---

Lisboa, .... de ..... de .....

*Dedico esta dissertação aos meus pais e à Cláudia*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor José António Tenedório, o meu agradecimento pelo apoio, confiança, motivação e sugestões na orientação da dissertação.

À Sara Encarnação, Teresa Santos, Sérgio Freire, Bruno Neves, Rossana Estanqueiro e António Rodrigues pela partilha de conhecimentos, atenção e disponibilidade.

Ao Miguel Centeno Brito pela disponibilidade, apoio, esclarecimento de dúvidas e conhecimentos transmitidos.

Ao e-Geo – Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional, da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, pelo uso das instalações e apoio financeiro na aquisição de software.

À empresa Municípiã, S.A. e à Câmara Municipal de Oeiras, pela disponibilização dos dados utilizados.

Aos meus pais e à Cláudia, pelo carinho, apoio, motivação, compreensão, paciência com que sempre me ajudaram a ultrapassar as etapas mais complicadas nesta fase da minha vida.

Um especial agradecimento a todos aqueles que acreditaram em mim e que directa ou indirectamente tornaram possível a elaboração da presente dissertação, os meus mais sinceros agradecimentos.



## **RESUMO**

### **INTEGRAÇÃO DE DADOS LIDAR COM IMAGENS DE MUITO ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS URBANAS COM POTENCIAL SOLAR**

**NUNO MIGUEL PEREIRA GOMES**

**PALAVRAS-CHAVE:** LiDAR, Imagem Aérea Digital, Modelo Digital de Elevação, Radiação Solar, Painel Solar Fotovoltaico

A contínua expansão urbana tem originado nas últimas décadas um aumento exponencial da população residente em aglomerados urbanos e consequentemente um acréscimo do número do edificado, com fortes repercussões no território. A conjugação de problemas ambientais com a dependência energética determinou a necessidade de investigar o desempenho energético em áreas urbanas. Os problemas daqui advindos deram origem a novos modelos de desenvolvimento, nos quais se reconhece a necessidade de repensar os novos espaços de expansão e a reestruturação das áreas já edificadas. Os instrumentos disponíveis para a implementação destes modelos, como a gestão urbanística e o planeamento urbano, exigem assim novas escalas para olhar o território. Nesta medida, exigem-se novos dados, métodos e técnicas que permitam investigar o desempenho energético nestas áreas. A dissertação de mestrado proposta procura a experimentação e sistematização de metodologias que visam dois grandes objectivos, nomeadamente: i) teste e experimentação de dados de Detecção Remota (integração de dados LiDAR com imagens aéreas de muito alta resolução espacial) para a extracção de informação sobre o edificado, especificamente a sua cobertura; e ii) a aplicação destes novos modelos de tratamento de informação na problemática do comportamento energético dos edifícios, i.e., a identificação de topos de edifícios com potencial para a instalação de painéis solares fotovoltaicos. A associação de dados LiDAR e de imagens aéreas de muito alta resolução espacial torna possível encontrar soluções para localização potencial de painéis solares fotovoltaicos, constituindo assim

um apoio valioso à tomada de decisão, quer em termos energéticos quer em termos de urbanismo. O procedimento metodológico contempla ainda a quantificação solar presente no território a diferentes escalas, modelos tridimensionais do território e a redistribuição da população ao edifício, esta última de análise pertinente na medida em que a área de acção dos instrumentos de ordenamento do território se estende para além do edifício. A informação adquirida permite repensar novos espaços urbanos que estejam em expansão e a reestruturação de áreas já edificadas e respectiva monitorização. Estes novos modelos traduzem-se assim em novas ferramentas de gestão urbanística e de planeamento urbano, permitindo analisar o território em diferentes escalas de trabalho e temática distintas.

## **ABSTRACT**

### **COMBINING LiDAR DATA WITH VERY HIGH SPATIAL RESOLUTION IMAGES FOR MAPPING SOLAR POTENTIAL IN URBAN AREAS SOLAR POTENTIAL**

**NUNO MIGUEL PEREIRA GOMES**

**KEYWORDS:** LiDAR, Digital Aerial Image, Digital Elevation Model, Solar Radiation, Solar Photovoltaic Panel

In recent decades, urban sprawl has led to an exponential increase in population living in urban areas, and consequently to an increase in the number of buildings. This process has strong repercussions in the territory. The combination of environmental problems with energy dependence determined the need to investigate the energy performance in urban areas. This gave rise to new development models, recognizing the need to rethink new expansion and restructuring the areas already built. The instruments available to implement these models, such as urban management and urban planning, require new scales to look at the territory. To that extent, new data, methods and techniques are required to investigate the energy performance in these areas. This dissertation seeks to experiment methodologies aimed at two main objectives, namely: i) to test and experiment with remote sensing data (combination of LiDAR data with very high spatial resolution aerial images) for the extraction of information on buildings, specifically its coverage, and ii) the application of these new models of information processing to the issue of building's energy efficiency, i.e., the identification of roof tops with potential for installing photovoltaic solar panels. The combination of LiDAR data and aerial images of very high spatial resolution makes it possible to find solutions for potential location of solar photovoltaic panels, thus providing valuable support to decision making, both in terms of energy efficiency and in terms of urbanism. The methodological approach additionally includes the quantification solar present in the territory at different scales, three-dimensional models of the territory, and redistribution of population at the building level. The latter analysis is relevant because the reach of

the instruments of spatial planning extends beyond the building. The information gained allows rethinking new urban spaces that are expanding and the restructuring of areas already built and their respective monitoring. These new models are reflected in new tools for urban management and urban planning, allowing to analyze the territory at different scales and thematic scope.

# ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS .....	xvi
Introdução .....	1
1. Energia e Potencial Solar.....	4
1.1. As potencialidades geográficas de Portugal em energias alternativas.....	4
1.2. Radiação solar .....	7
1.2.1. Variação espacial da radiação solar.....	8
1.2.2. Variação temporal da radiação solar .....	10
1.3. Conversão de energia solar em electricidade .....	11
2. Tecnologias .....	13
2.1. A tecnologia de registo de imagens DMC.....	13
2.2. A tecnologia de obtenção de dados LiDAR .....	16
2.3. Vantagens do registo simultâneo LiDAR / DMC .....	19
2.4. Modelos de estimativa do potencial solar.....	20
2.5. Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica .....	25
3. Procedimentos Metodológicos Gerais e Dados Utilizados .....	28
3.1. Procedimento geral.....	28
3.2. Área de experimentação .....	29
3.3. Dados .....	30
3.3.1. DMC .....	30
3.3.2. LiDAR .....	32
4. Extracção de Informação .....	34
4.1. Extracção de informação a partir de imagem DMC.....	35
4.1.1. Extracção de área permeabilizada .....	36
4.1.2. Extracção de área impermeabilizada .....	39
4.1.3. Pós-processamento .....	39

4.1.4. Avaliação de qualidade.....	42
4.2. Levantamento funcional.....	44
5. Extracção de Modelos de Elevação Digital .....	46
5.1. Modelo Digital de Terreno.....	47
5.2. Modelo Digital de Superfície .....	50
6. Modelo Solar.....	54
6.1. Calibração de modelo solar.....	54
6.2. Quantificação da energia.....	60
6.2.1. Terreno.....	61
6.2.2. Superfície.....	63
7. Redistribuição de População Residente .....	69
7.1. Redistribuição de população residente à mancha urbana.....	70
7.2. Redistribuição de população residente ao edifício .....	71
7.2.1. Modelo Digital de Superfície Normalizado.....	72
7.2.1.1. Avaliação de qualidade.....	73
7.2.2. Desagregação da população ao edifício.....	75
8. Resultados .....	79
8.1. Comparação de resultados obtidos de diferentes modelos.....	79
8.2. Determinação de áreas para potencial localização de PV .....	80
8.3. Análise de população potencial a servir por painéis fotovoltaicos .....	84
9. Discussão de Resultados.....	87
9.1. Qualidade do modelo digital de superfície .....	87
9.2. Qualidade do modelo solar.....	88
9.3. Qualidade da redistribuição de população .....	89
9.4. Automatização de procedimentos .....	90
Considerações Finais .....	91

BIBLIOGRAFIA .....	92
Bibliografia fundamental.....	92
Bibliografia complementar.....	96
Legislação .....	99
ÍNDICE DE FIGURAS .....	100
ÍNDICE DE TABELAS .....	104
ANEXOS .....	I
Anexo I - Mapa de levantamento funcional .....	I
Anexo II - Tabela de levantamento funcional .....	II
Anexo III - Código de aplicação solar .....	XIX

## LISTA DE ABREVIATURAS

µm – micrón

ALS – *Airborne Laser Scanner*

ALT MSL – *Mean Sea Level Altitude*

AML – Área Metropolitana de Lisboa

BGRI – Base Geográfica de Referenciação da Informação

Bit – *Binary digit*

BP – *British Petroleum*

CAD – *Computer Aided Design*

CCD – *Charge Coupled Device*

cm – centímetro

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

dm – decímetro

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DGPS – *Differential Global Positioning System*

DMC – *Digital Mapping Camera*

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

ft – *feet*

GPS – *Global Positioning System*

GW – Gigawatt

H<sub>2</sub>O – Água

Hz – *Hertz*

IDW – *Inverse Distance Weighted*

IHS – *Intensity Hue Saturation*

IMU – *Inertial Measurement Unit*

INE – Instituto Nacional de Estatística



INSAR – *Synthetic Aperture Radar Interferometry*

IVP – *Infravermelho Próximo*

K<sub>cb</sub> – Coeficiente de média mensal de irradiação global

K<sub>cd</sub> – Coeficiente de média mensal de irradiação difusa

kgCO<sub>2</sub>e – quilograma de dióxido de carbono equivalente

Km – quilómetro

kW – kilowatt

LAS – *Log ASCII Standard*

LASER – *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

LiDAR – *Light Detection And Ranging*

m – metro

Max ALT AGL – *Maximum altitude above ground level*

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDSn – Modelo Digital de Superfície normalizado

MDT – Modelo Digital de Terreno

MeteoNorm – *Global Meteorological Database for Engineers, Planners and Education*

Min ALT AGL – *Minimum Altitude Above Ground Level*

N – Norte

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NASA SSE – *The Surface Meteorology and Solar Energy Project*

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*

NGA – *National Geospatial-Intelligence Agency*

NIR – *Near infrared*

nm – nanómetro

NREL – *Natural Resource Ecology Laboratory*

O<sub>2</sub> – Oxigénio

O<sub>3</sub> – Ozono

°C – Graus Celsius

PAEK – *Polynomial Approximation with Exponential Kernel*

Pan – Pancromático

PIB – Produto Interno Bruto

PV – Fotovoltaico

PVGIS – *Photovoltaic Geographic Information System*

RADAR – *Radio Detection And Ranging*

RCM – Resolução do Conselho de Ministros

RGB – Sistema de cores aditivas, *Red* (vermelho), *Green* (verde) e *Blue* (azul)

S.A. – Sociedade Anónima

Satel Light – *The European Database of Daylight and Solar Radiation*

SE – Sudeste

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SoDa – Solar Data

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

SW – Sudoeste

Tep – Tonelada equivalente petróleo

TIN – *Triangular Irregular Networks*

tonCO<sub>2</sub>e – Toneladas de dióxido de carbono equivalente

VEGA2000 – *Vegetation Data for the Millennium Ecosystem Assessment*

VGT – *Vegetation*

W – Watt

WEBGIS – Sistema de informação geográfica na internet

Wp – Watt-pico

α – Alfa

$\eta_{\text{eléctrico}}$  – Rendimento eléctrico médio

$\theta$  – Theta

$\lambda$  – Lambda (comprimento de onda)

## INTRODUÇÃO

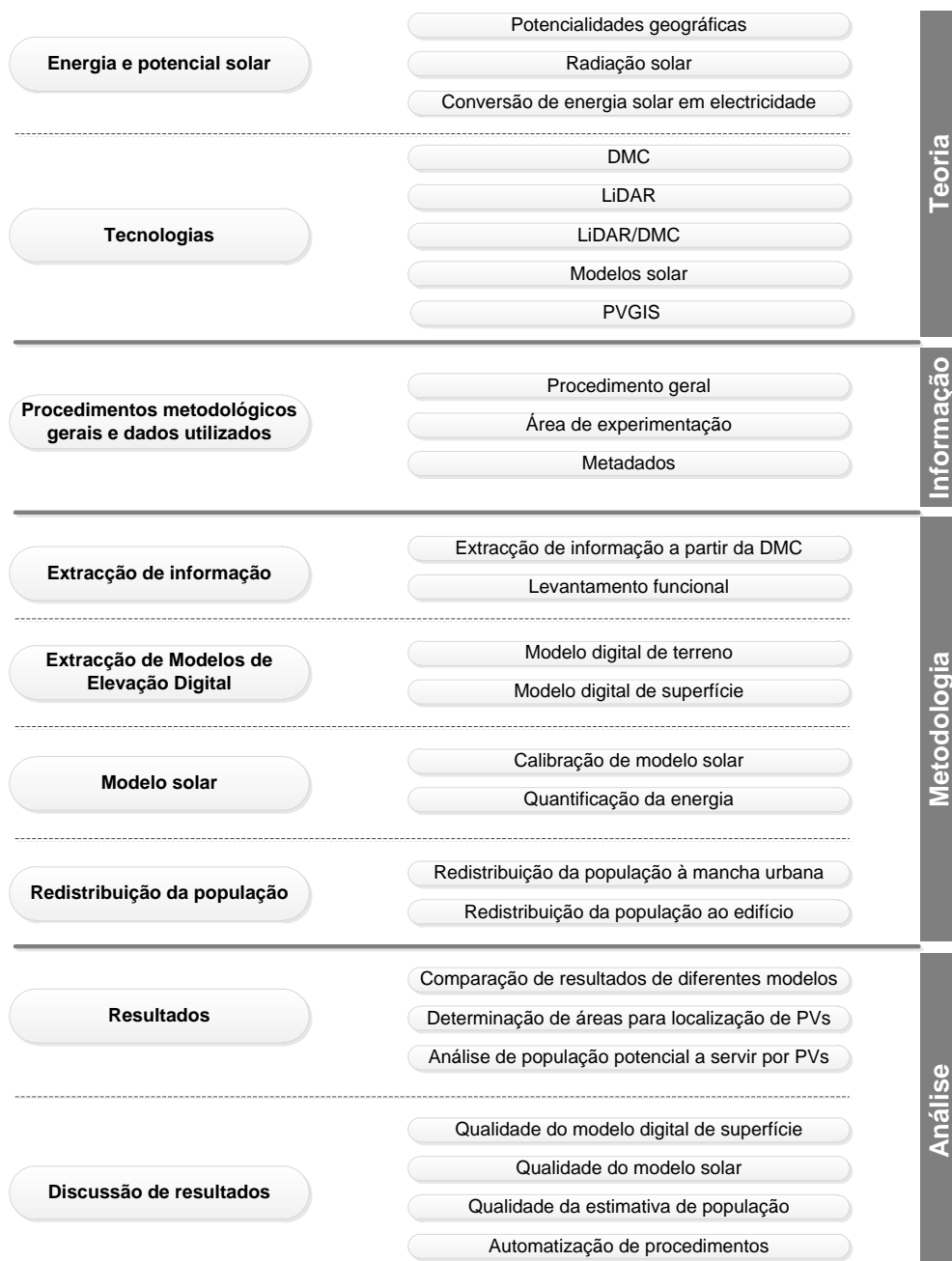
A energia tem um papel fundamental no crescimento das economias dos países. A expansão do consumo energético tem originado nas últimas décadas um impacto negativo sobre o ambiente, contribuindo para a implementação de novas estratégias energéticas e ambientais. Estas estratégias procuram uma solução de equilíbrio entre as condicionantes ambientais, exequibilidade técnica e a viabilidade económica na promoção de um desenvolvimento sustentável tendo em vista a segurança do abastecimento energético e sua competitividade.

Os problemas energéticos conjugados com a contínua expansão urbana, que originou um aumento exponencial da população residente e consequentemente aumento do número do edificado, determinaram a necessidade da procura de novas soluções energéticas em áreas urbanas. Com a utilização de novos métodos e técnicas presentes no meio científico podem-se então encontrar alternativas para a dependência existente em energias convencionais (petróleo, gás e carvão). O desenvolvimento de novas políticas que possibilitem uma integração bem sucedida no mercado de energias renováveis depende muito da estimativa do potencial de implementação e viabilidade económica.

Uma vertente interessante destes mercados é a implementação de sistemas solares fotovoltaicos em áreas urbanas. Esta solução requer um estudo da área disponível da cobertura do edifício para a instalação dos módulos fotovoltaicos, de modo a poder estimar com alguma exactidão as suas potencialidades [Izquierdo *et al.*, 2008]. A utilização da detecção remota, com dados LiDAR e imagens de muito alta resolução espacial, surge naturalmente como a área científica que se adequa à problemática da extracção de informação relevante. A união destes dois tipos de dados parece, assim, trazer novas ferramentas para a solução de problemas presentes no território, constituindo um apoio valioso às tomadas de decisão, em termos de planeamento e urbanismo.

Nesta medida, exigem-se novos métodos e técnicas que permitam a avaliação destas áreas. O desenvolvimento de modelos urbanos tridimensionais a partir de dados LiDAR é disso um exemplo. A possibilidade de conseguir modelar o edificado e a sua interligação com dados estatísticos permite a identificação de novas realidades susceptíveis de serem estudadas e novos problemas passíveis de serem solucionados.

A dissertação proposta procura a experimentação e sistematização de um dos possíveis campos de aplicação das novas tecnologias e metodologias. Desta forma, identificam-se dois objectivos principais: i) teste e experimentação de dados de detecção remota para a extracção de informação sobre o edificado, especificamente a sua cobertura; e ii) aplicação destes novos modelos de tratamento de informação à produção de energia descentralizada em meio urbano, i.e., a identificação de áreas nas coberturas dos edifícios com potencial para a instalação de painéis solares fotovoltaicos. A presente dissertação encontra-se disposta de acordo com o seguinte esquema (Figura 1):



**Figura 1** - Esquema síntese de estrutura da dissertação

O capítulo 1 descreve de modo geral a realidade nacional em energias alternativas, apresentando as potencialidades geográficas e objectivos a atingir na implementação de novas políticas energéticas nacionais, com enfoque na energia solar, expondo a variação espacial e temporal da radiação solar presentes no território e factores a ter em consideração na análise da avaliação do potencial solar.

No capítulo 2 é apresentada a evolução tecnológica de sensores na detecção remota, que possibilitaram a aquisição dos dados que foram utilizados na dissertação, e uma síntese geral das diferentes abordagens de elaboração de modelos na temática da energia solar.

Os procedimentos metodológicos gerais da dissertação estão expostos no capítulo 3, bem como a informação dos dados utilizados para a elaboração dos diferentes modelos de extracção de informação. Os capítulos de 4 a 7 descrevem o processo de elaboração dos diferentes modelos extraídos, a partir de dados LiDAR e imagem aérea digital de alta resolução espacial, de informação pertinente para o objectivo proposto de quantificação da radiação solar, áreas para implementação de painéis solares fotovoltaicos e redistribuição da população à mancha urbana e ao edifício.

No capítulo 8 são analisados os resultados obtidos provenientes dos diferentes modelos extraídos (quantificação da irradiação solar em diferentes escalas de análise), procedendo-se à respectiva localização de áreas para a implementação de painéis solares fotovoltaicos e análise da população abrangida por estes.

No capítulo final de discussão de resultados é analisada a qualidade dos diferentes modelos extraídos e a automatização de procedimentos.

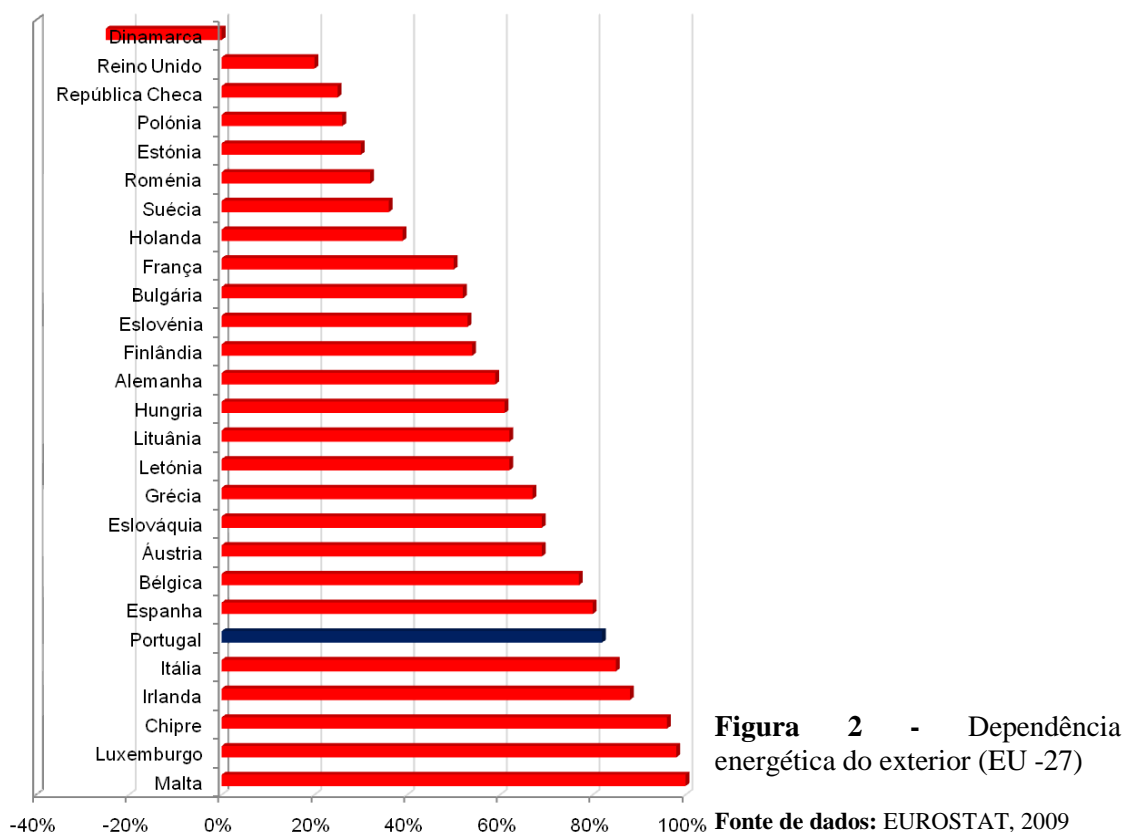
## 1. ENERGIA E POTENCIAL SOLAR

A realidade nacional é distinta, em relação à grande maioria dos países da união europeia, no que diz respeito às potencialidades geográficas e políticas energéticas. Estas são descritas no capítulo subsequente.

### 1.1. As potencialidades geográficas de Portugal em energias alternativas

Portugal é um país com pouco recursos energéticos, em 2007 produziu cerca de 17% da energia que consumiu, sendo actualmente o sexto país da União Europeia mais dependente do exterior [Roriz *et al.*, 2010].

Outro factor a ter em consideração que influência em larga escala a balança energética portuguesa é a sua enorme dependência do petróleo e energias fósseis, em comparação com outros países da União Europeia (Figura 2).



A situação nacional está assim perante uma reduzida diversificação da oferta energética primária, associada à escassez de recursos endógenos, o que origina uma maior vulnerabilidade do sistema energético às oscilações dos preços internacionais,

principalmente do preço do petróleo, exigindo esforços no sentido de aumentar a diversificação [Ferreira, 2008].

Portugal no seu território apresenta variadas fontes de energias alternativas renováveis, que podem constituir opções viáveis às energias primárias comumente usadas, como a biomassa, eólica, geotérmica, hídrica, solar e oceanos.

Nos últimos anos as políticas nacionais começaram a dar um maior enfoque às energias alternativas presentes no território nacional, como fica expresso na Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 29/2010, de 15 de Abril<sup>1</sup>, na qual se destacam as principais linhas de orientação política. As medidas de maior relevância para a área da energia, referidas na RCM n.º 29/2010, têm como principais objectivos:

*“i) Reduzir a dependência energética do País face ao exterior para 74 % em 2020, produzindo, nesta data, a partir de recursos endógenos o equivalente a 60 milhões de barris anuais de petróleo, com vista à progressiva independência do País face aos combustíveis fósseis;*

*ii) Garantir o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas, permitindo que em 2020, 60% da electricidade produzida e 31 % do consumo de energia final tenham origem em fontes renováveis e uma redução do 20 % do consumo de energia final nos termos do Pacote Energia -Clima 20 -20 -20;*

*iii) Reduzir em 25 % o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas gerando uma redução de importações de 2.000 milhões de euros;*

*iv) Criar riqueza e consolidar um cluster energético no sector das energias renováveis em Portugal, assegurando em 2020 um valor acrescentado bruto de 3.800 milhões de euros e criando mais 100.000 postos de trabalho a acrescer aos 35.000 já existentes no sector e que serão consolidados. Dos 135.000 postos de trabalho do sector, 45.000 serão directos e 90.000 indirectos. O impacto no PIB passará de 0,8 % para 1,7 % até 2020;*

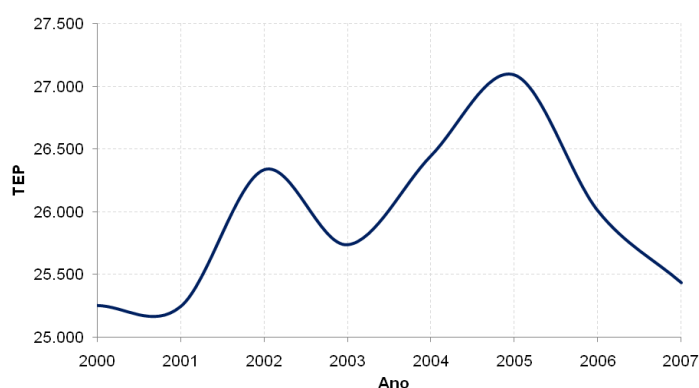
---

<sup>1</sup> A supracitada Resolução do Conselho de Ministros revoga a anterior RCM n.º 169/2005, de 24 de Outubro



v) *Promover o desenvolvimento sustentável criando condições para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas por Portugal no quadro europeu.*<sup>2</sup>

As linhas estratégicas presentes no RCM n.º 169/2005, de 24 de Outubro traduziram-se num decréscimo consumo de energia primária em 6% no período entre 2005 a 2007, como se pode observar na Figura 3, prevendo-se que o RCM 29/2010, de 15 de Abril prolongue a mesma tendência.



**Figura 3** – Evolução de consumo de energia primária em Portugal

Fonte de dados: DGEG, 2009

De acordo com os dados presentes na Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o consumo de petróleo continua ter um peso relevante na estrutura de abastecimento com 54% do consumo total de energia primária em 2007, apresentando um decréscimo comparando com os valores presentes em 2005 (59%).

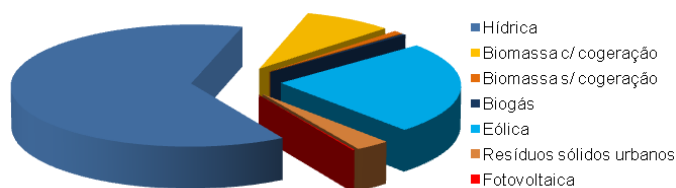
A inclusão do gás natural na década de 1990 permitiu aumentar a diversificação da oferta de energia em Portugal, reduzindo a dependência ao exterior em relação ao petróleo, com uma representação em 2007 de 15% do total do consumo em energia primária.

Quanto ao carvão, em 2007 corresponde a 11% do total do consumo de energia primária. Prevê-se porém uma diminuição gradual do peso do carvão na produção de electricidade, devido ao seu impacto nas emissões de CO<sub>2</sub>.

No que diz respeito ao contributo das energias renováveis no consumo total de energia primária, esta representa somente 17% do total, distribuída na seguinte maneira: i) 10.351GWh em hídrica; ii) 1.361GWh em biomassa com cogeração; iii) 149GWh

<sup>2</sup> Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 29/2010, de 15 de Abril

biomassa sem cogeração; iv) 55GWh em biogás; v) 4.007GWh em eólica; vi) 498GWh resíduos sólidos urbanos; vii) 23,6GWh em fotovoltaica (Figura 4).



**Figura 4** - Energia Eléctrica a partir de Fontes de Energias Renováveis para o ano 2007

Fonte de dados: DGEG, 2009

Em 2007, foram produzidos 16.445 GWh de energia eléctrica a partir de fontes de energias renováveis, em que o contributo de energia fotovoltaica foi apenas de 0,14%. A partir deste valor constata-se que o subaproveitamento da energia fotovoltaica no contexto nacional é evidente tendo em conta o seu elevado potencial.

## 1.2. Radiação solar

A radiação solar é uma fonte limpa, renovável e abundante de energia. Estudos consideram que o sol tem aproximadamente 5 mil milhões de anos, com um tempo de vida útil de 10 mil milhões de anos [Roriz *et al.*, 2010], apresentando-se como uma fonte de energia virtualmente ilimitada.

A potência média da radiação solar na superfície exterior da atmosfera terrestre é de  $1.367 \text{ W/m}^2$ . Considerando que o raio médio da Terra é de 6.371 km, a potência total da radiação solar é  $7 \times 10^{17} \text{ W}$ . Como o consumo total de energia é  $1,5 \times 10^{13} \text{ W}$  [Hayward, 2009], a radiação solar é cerca de 46.000 vezes superior às necessidades energéticas do mundo, pelo que podemos dizer que em 11 minutos o planeta recebe do Sol toda a energia que consome durante um ano [Roriz *et al.*, 2010].

Quando a radiação solar penetra na atmosfera vai sofrer absorção por moléculas da atmosfera (como por exemplo,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ), vai ser reflectida pela atmosfera (e não chega a atingir a superfície terrestre) e sofrer dispersão Rayleigh ou de Mie<sup>3</sup>. Assim, só uma fracção da radiação solar atinge a superfície terrestre. A radiação que consegue atravessar a atmosfera pode ser decomposta em duas componentes:

- i) Radiação directa proveniente do sol e que incide directamente na superfície terrestre;

<sup>3</sup> Dispersão de Raileigh ocorre quando a partícula é muito pequena quando comparada com o comprimento de onda do fotão; Dispersão de Mie ocorre quando a dimensão da partícula é da ordem de grandeza do comprimento de onda do fotão.

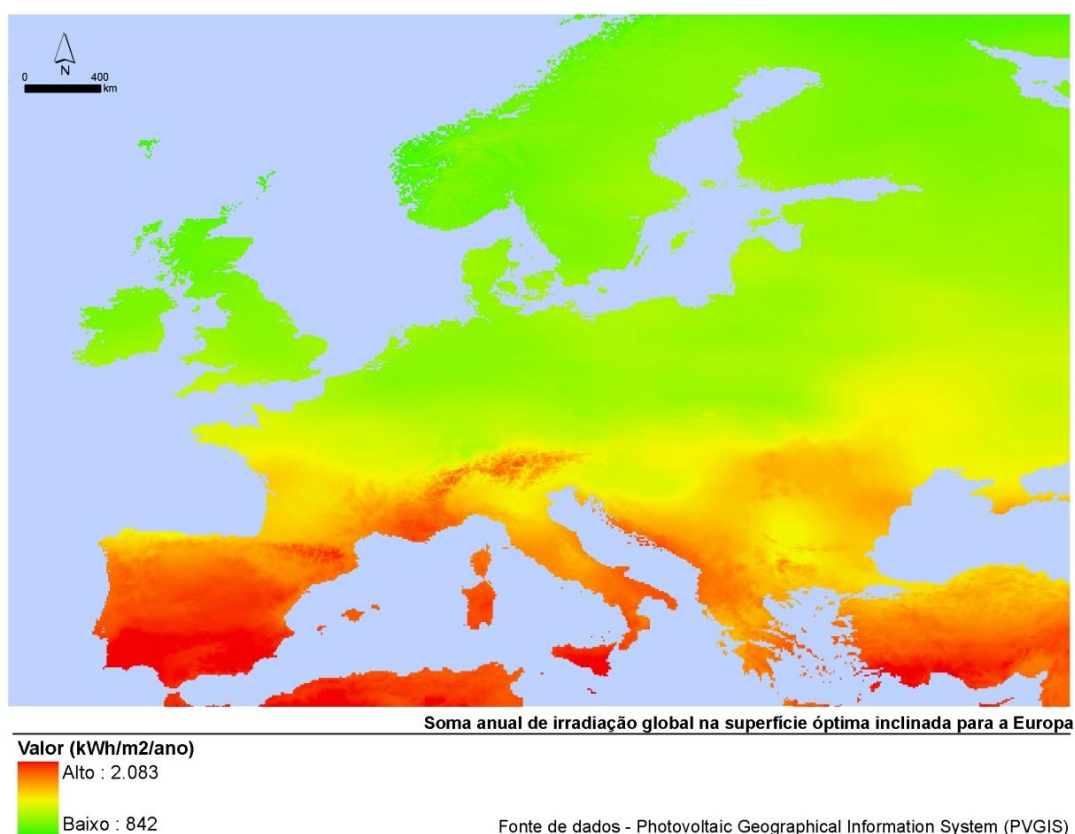
ii) Radiação difusa, que chega à superfície através da difusão de moléculas de ar e partículas de pó.

A irradiação solar depende de determinadas variáveis como, por exemplo, a localização geográfica, a época do ano, a hora do dia, poluição, sombreamentos, etc.

A potência da radiação solar é normalmente apresentada com unidades de potência por unidade de área, tipicamente  $\text{W/m}^2$  ou  $\text{kW/m}^2$ . Quando falamos de energia solar, as unidades são energia por unidade de área, usando-se normalmente  $\text{kWh/m}^2$ . Por simplificação, há quem apresente a irradiação (energia) solar anual em “horas de sol”. Estas unidades resultam da divisão da energia solar anual ( $\text{kWh/m}^2/\text{ano}$ ) pela energia de uma hora de sol “padrão” (a que, por convenção, corresponde  $1\text{kWh/m}^2$ ).

### 1.2.1. Variação espacial da radiação solar

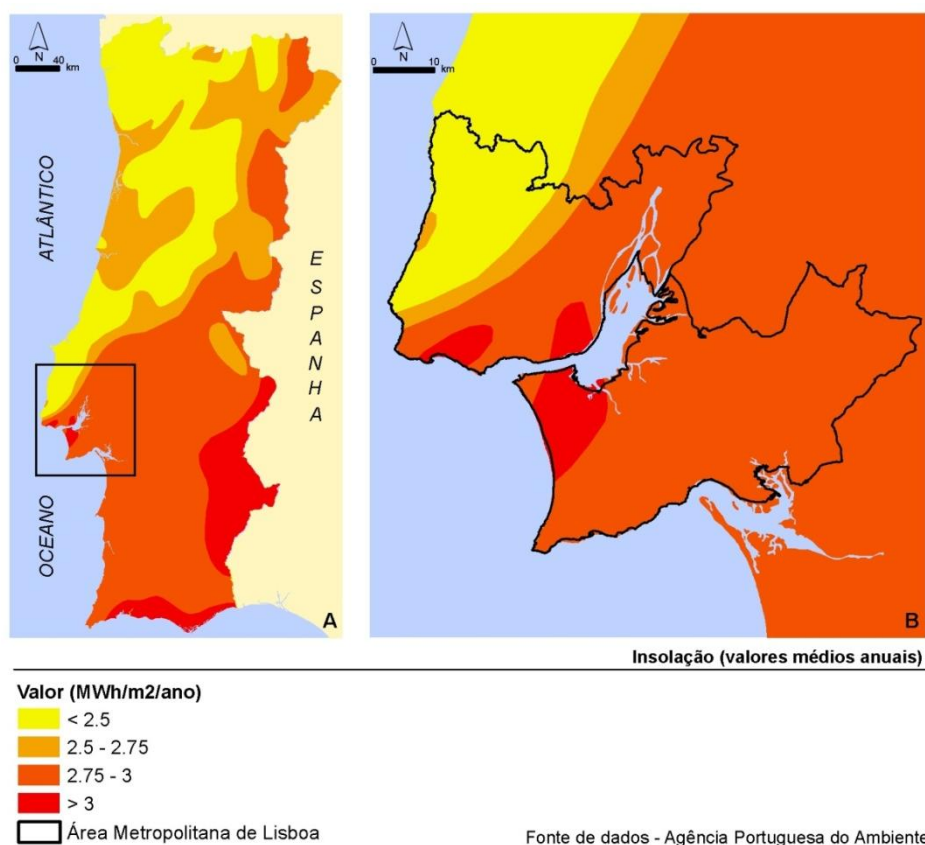
O território nacional e as regiões do Mediterrâneo são aquelas que apresentam o maior potencial de energia solar na Europa (Figura 5), apresentando picos fortes no Verão sem nebulosidade [Súri *et al.*, 2007].



**Figura 5** - Soma anual de irradiação global numa superfície ótima inclinada para a Europa

Portugal, em comparação com outros países europeus, é um dos que recebe índices de irradiação solar mais elevados por unidade de superfície, justificado pela sua localização geográfica. Em território nacional a radiação solar total média anual é de 1,74 MWh/m<sup>2</sup>/ano, valor bastante superior à média Europeia, com 1,16MWh/m<sup>2</sup>/ano, apenas superado pelos valores registados nas regiões tropicais áridas e semi-áridas de 2,32MWh/m<sup>2</sup>/ano [Ramos *et al.*, 1998]. Estes resultados estão ilustrados na Figura 5 que representa a irradiação global anual numa superfície com inclinação óptima para toda a Europa.

Os principais factores que determinam a variação da insolação em Portugal continental são a influência da latitude na altura do sol e o aumento da nebulosidade do litoral para o interior. Os valores máximos da insolação presenciam-se no Algarve Oriental e Central bem como no interior do Alentejo com mais de 3.000 horas de sol/ano (3MWh/m<sup>2</sup>/ano) e os mínimos na região do Minho com menos de 2.000 horas de sol/ano (2MWh/m<sup>2</sup>/ano). Na Área Metropolitana de Lisboa (AML) os valores médios de insolação solar variam entre as 2.500 horas/ano (2.5MWh/m<sup>2</sup>/ano) e 3.000 horas/ano (3MWh/m<sup>2</sup>/ano) [Ramos *et al.*, 1998]. A Figura 6 mostra os valores médios anuais da insolação em Portugal continental e na AML em MWh/m<sup>2</sup>/ano.



**Figura 6** - Valores médios anuais de insolação: a) Portugal Continental; b) AML

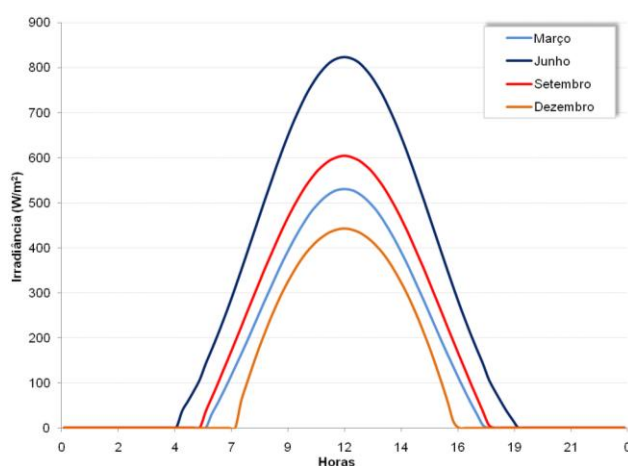
### 1.2.2. Variação temporal da radiação solar

Um dos factores importantes para determinar os valores de radiação solar é a localização exacta do Sol, definida pela sua altura e azimute. Por convenção, o azimute de  $0^\circ$  ( $\alpha = 0^\circ$ ) identifica o Sul, os ângulos orientados a Este e a Oeste correspondem respectivamente ao  $\alpha = -90^\circ$  e  $\alpha = 90^\circ$ . A altura solar varia entre  $0^\circ$  (horizontal) e  $90^\circ$  (zénite).

A inclinação do eixo da Terra relativamente ao plano definido pela Terra e o Sol origina a que os dias de Verão tenham mais horas de radiação solar que os de Inverno, e que a altura solar média seja mais elevada nos meses de Verão do que no Inverno. O percurso da radiação solar na atmosfera é mais curto quando o Sol se encontra perpendicular à superfície terrestre e portanto, como vimos acima que quanto mais longo é o percurso através da atmosfera, menor será a intensidade que chega à superfície da Terra, a intensidade média da radiação solar vai ser menor no Inverno do que no Verão, mesmo que não existisse mais nebulosidade [GREENPRO, 2004].

A última variável que afecta a quantidade de radiação solar é as condições atmosféricas presentes. A transmissividade atmosférica da radiação solar varia consoante a quantidade de nuvens, vapor de água e aerossóis.

A Figura 7 ilustra a variação da irradiância global média mensal no plano horizontal em Lisboa, ao longo do dia, para 4 meses do ano. Podemos observar que a duração do dia é maior no Verão do que no Inverno (mais horas de sol) e que difere nos diferentes meses do ano (altitudes solares são mais elevadas nos meses de Verão do que no Inverno).



**Figura 7** - Irradiância global num plano fixo em Lisboa

Fonte de dados: PVGIS

(<http://pawst.com/post/125496-pvgis-home>)

### 1.3. Conversão de energia solar em electricidade

A radiação solar que chega à superfície terrestre pode ser convertida em formas de energia útil, nomeadamente biomassa (através da fotossíntese das plantas) ou directamente em calor (energia solar térmica) ou electricidade (energia solar fotovoltaica). Neste trabalho, a nossa atenção foca-se na energia fotovoltaica em meio urbano. A energia solar térmica (e.g. produção de calor para aquecimento de águas sanitárias) tem obviamente interesse para o meio urbano mas não é analisada uma vez que, considerando as necessidades de água quente típicas e a insolação em Portugal, bastam cerca de  $0,5 \text{ m}^2$  de painéis solares térmicos por habitante, e por isso não parece ser necessário fazer um esforço para analisar a disponibilidade de espaço nos telhados para esse efeito.

A produção de energia eléctrica a partir da energia solar com recurso a sistemas solares fotovoltaicos, tem vindo nos últimos anos a ser a aposta da política energética de muitos países. Estes sistemas convertem a luz solar directamente em electricidade baseados no princípio fotovoltaico, de conversão da energia dos fotões incidentes em electrões de condução. Um sistema fotovoltaico de silício cristalino típico, instalado em áreas urbanas em Portugal, consegue gerar valores de electricidade anual que variam entre 1.100 e 1.330 kWh por Watt-pico<sup>4</sup> instalado num plano horizontal. A inclinação dos módulos solares fotovoltaicos do ângulo horizontal para um ângulo óptimo aumenta a produção de electricidade em áreas urbanas entre 9 a 26%. Em Portugal um módulo que esteja com inclinação óptima poderá produzir cerca de 1.500 kWh/Wp. [Súri *et al.*, 2007].

Tendo em conta os factores geográficos descritos, o recurso a centrais fotovoltaicas e a sistemas fotovoltaicos descentralizados (sistemas solares fotovoltaicos inseridos no edificado), constituem uma opção válida para a diminuição da dependência energética nacional. A presente regulamentação comunitária e nacional constitui um exemplo da vontade em criar as condições para o desenvolvimento de aplicações no âmbito da inserção da energia solar no contexto nacional [Roriz *et al.*, 2010].

O potencial solar é estudado tanto a escalas globais como locais, havendo distintos métodos de análise, consoante as escalas de trabalho.

---

<sup>4</sup> Watt-pico ou Wp, é a unidade de medida da potência nominal de um painel solar fotovoltaico em condições padrão de iluminação ( $1.000 \text{ W/m}^2$ ) com o espectro solar e uma temperatura padrão ( $25^\circ\text{C}$ ).

Para se poder quantificar o potencial fotovoltaico precisa-se de ter em consideração os seguintes factores: i) realidades locais; ii) dados meteorológicos; iii) eficiência da tecnologia de conversão; e iv) factores económicos [Wittmann *et al.*, 1997]. Os factores económicos são muitas vezes descurados neste tipo de análise, tendo-se em conta os restantes factores enunciados.

A avaliação do potencial solar de uma determinada área deve analisar as seguintes variáveis: i) avaliação do potencial físico, estudo da radiação solar sobre a superfície em estudo; ii) avaliação do potencial geográfico, estudo da irradiação solar na superfície de solo ou cobertura; e iii) avaliação do potencial técnico, eficiência dos PVs [Izquierdo *et al.*, 2008].

A avaliação do potencial físico é feita a partir da análise da radiação solar na superfície em estudo. Para tal recorre-se a base de dados meteorológicos adquiridos ao longo de anos, que permitem caracterizar tanto a radiação solar global em superfície horizontal como a proporção difusa numa determinada área. Com base nestes dados consegue-se calcular a distribuição espacial solar a partir de modelos matemáticos desenvolvidos para o efeito.

Para avaliar o potencial geográfico da radiação solar numa superfície, especialmente em áreas urbanas, é preciso determinar a área da cobertura que tem localização elegível para a implementação de um sistema solar fotovoltaico. Em áreas urbanas tem de se ter em conta determinados factores que podem influenciar a incidência de radiação solar na cobertura: i) orientação; ii) inclinação; iii) sombreamento; iv) tipo de cobertura.

A última variável a ter em consideração para a avaliação do potencial solar, é o potencial técnico. Este avalia-se a partir da eficiência de um sistema solar fotovoltaico. O valor obtido é calculado entre a radiação solar que incide no módulo fotovoltaico e o que é produzido em energia eléctrica.

## **2. TECNOLOGIAS**

Nas últimas décadas, a evolução tecnológica de sensores na detecção remota possibilitou a aquisição de dados de elevada resolução. Esta informação permitiu a elaboração de modelos nas temáticas de energias renováveis, contribuindo para um potencial aumento do seu rigor. A descrição destas tecnologias e modelos elaborados na área da energia solar são expostas neste capítulo.

### **2.1. A tecnologia de registo de imagens DMC**

Durante algumas décadas houve uma separação distinta das diferentes aplicações usadas em imagem de satélite e imagem aérea. Em anos recentes, o avanço da tecnologia, originou uma diminuição destas divergências e as diferentes áreas começam agora a convergir. Uma das razões que levou a esta convergência foi o aparecimento das câmaras aéreas digitais.

O processo fotogramétrico utiliza o suporte digital desde o início da década de 90, excepção feita à aquisição da imagem, que é registada em formato analógico por obter imagens com melhor resolução espacial.

O aparecimento de câmaras aéreas digitais capazes de recolher imagens de alta resolução ocorreu no princípio do século, sendo as imagens obtidas por este sensor passíveis de uso em aplicações cuja exigência de resolução espacial varia entre 1 dm e 1 m.

As imagens provenientes das câmaras aéreas digitais conseguem de momento competir directamente com as imagens das câmaras métricas aéreas, apesar destas últimas ainda conseguirem fornecer imagens com melhores resoluções geométricas (1 cm a 1 dm) [Redweik, 2007].

A câmara aérea digital incorpora os seguintes componentes: i) módulo do sensor; ii) unidades de memória de massa; e iii) sistema GPS/IMU [Heier, 2001].

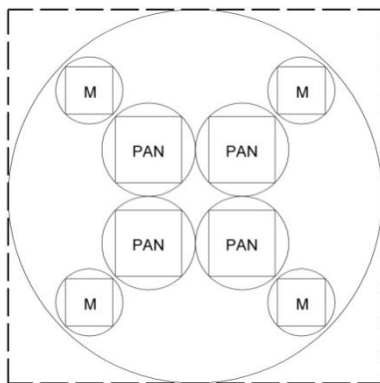
A câmara de mapeamento digital (Digital Mapping Camera - DMC) pode ter um dispositivo de carga acoplado (CCD - Charge coupled device) matricial ou linear. No presente estudo utilizou-se uma imagem proveniente da DMC com um CCD matricial.

O funcionamento do CCD matricial presente nas câmaras aéreas digitais é feito a partir da conjugação de diferentes câmaras, em que cada uma tem um sensor acoplado,



uma objectiva e um obturador. Este sistema matricial baseia-se na exposição sincronizada de um conjunto de sensores CCD, que se encontram dispostos em formato matricial, possibilitando obter uma imagem instantânea do objecto presente na superfície [Redweik, 2007]. Os CCDs da DMC são sensores com um factor de preenchimento óptico de elevada sensibilidade, com um tamanho de pixel de  $144\mu\text{m}^2$  ( $12\mu\text{m} \times 12\mu\text{m}$ ), oferecendo uma resolução radiométrica de 12 bits [Hinz *et al.*, 2001].

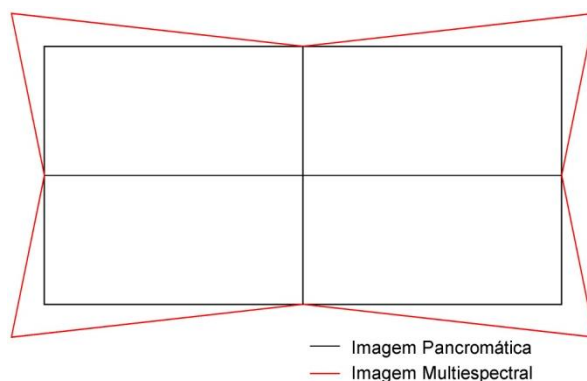
O sensor da câmara aérea digital combina 8 câmaras (4 centrais e 4 periféricas), como se pode ver na Figura 8. As câmaras centrais são as que têm maior resolução e destinam-se à aquisição da imagem pancromática, enquanto as câmaras periféricas destinam-se a captar as 3 imagens do espectro do visível (azul, verde e vermelho) e uma na radiação do infravermelho próximo.



**Figura 8** - Disposição das câmaras na DMC

Fonte: Redweik, 2007

As câmaras centrais estão dispostas de maneira a que o eixo central de cada câmara esteja ligeiramente convergente, originando uma sobreposição entre elas. O alinhamento das câmaras periféricas está disposto de maneira a que cada câmara multiespectral capte toda a área da união das 4 imagens obtidas pelas câmaras centrais (Figura 9).



**Figura 9** – Área abrangida pelas 4 câmaras pancromáticas e por cada câmara multiespectral na DMC

Fonte: Redweik, 2007

As câmaras presentes no sensor estão configuradas para procederem a um registo simultâneo. Após a aquisição das imagens é efectuado um pós-processamento, obtendo-se novas imagens [Redweik, 2007]. Os sensores das câmaras aéreas digitais fornecem imagens com alta resolução apenas em modo pancromático. Assim, para se obter imagens multiespectrais com resolução semelhante é preciso fundir a imagem pancromática com a multiespectral [Ehlers, 2006].

A imagem pancromática contém 7.680 pixels por 13.824 pixels de 12  $\mu\text{m}$ , enquanto as imagens multiespectrais na sua aquisição têm 3.000 pixels por 2.000 pixels. Após o processo de fusão passam a ter a mesma resolução da imagem pancromática (Figura 10). Este processo utiliza o modo de transformação de Intensidade de Saturação Hue (*Intensity Hue Saturation – IHS*), “*que consiste em dividir os pixéis da imagem colorida para ficarem com a mesma dimensão dos da imagem pancromática, este método realiza uma transformação entre espaços de cor RGB para IHS, substitui o canal I pela imagem pancromática e realiza a transformação inversa de IHS para RGB, obtém-se deste modo uma imagem colorida com a resolução geométrica da imagem pancromática*”.<sup>5</sup>



**Figura 10** – Imagem DMC

Os novos sensores de alta resolução geométrica, presentes nas câmaras aéreas digitais, oferecem um enorme potencial para aplicações urbanas (modelos citadinos), necessitando agora de uma evolução em termos de algoritmos de extracção de informação, devido à complexidade de informação presente nas imagens [Ehlers, 2006].

---

<sup>5</sup> Redweik, P. (2007), “Fotogrametria aérea”. Em *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*, pp.55

## 2.2. A tecnologia de obtenção de dados LiDAR

A tecnologia de dados LiDAR (*Light Detection And Ranging*) tem como principal objectivo a aquisição num curto espaço de tempo de dados altimétricos com precisão de centímetros. A vantagem desta técnica, em relação a outras, é de conseguir evitar problemas de triangulação e ortorretificação, devido à georeferenciação automática de cada ponto [Jensen, 2007].

Esta tecnologia é considerada detecção remota activa<sup>6</sup>, utilizando comprimentos de onda do visível ( $400\text{nm} < \lambda < 700\text{nm}$ ), ultravioleta ( $225\text{nm} < \lambda < 400\text{nm}$ ) e infravermelho ( $0,7\mu\text{m} < \lambda < 12\mu\text{m}$ ) para detectar objectos presentes na superfície [Fujii *et al.*, 2005].

O LiDAR combina numa plataforma, presente numa aeronave ou num helicóptero, as seguintes tecnologias:

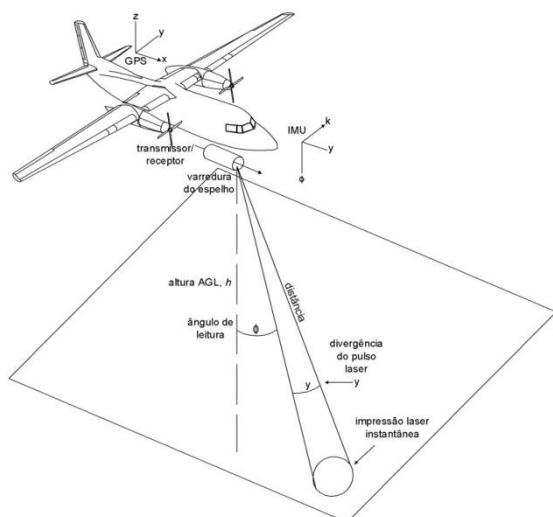
- i) Sistema de posicionamento (GPS em modo diferencial - DGPS) que permite o aumento da exactidão dos dados e assim diminuir a margem de erro. Consiste em dois GPS, um fixo e outro nas proximidades, que recebem os sinais com erros os mais semelhantes possíveis; a subtracção de ambos os sinais origina a medição da diferença precisa dos dois receptores e assim, se um dos receptores estiver num ponto de coordenadas conhecidas, as coordenadas absolutas do segundo podem ser determinadas com exactidão de centímetros;
- ii) Sistema de orientação (unidade de medição inercial - IMU *inertial measurement unit*) é o componente principal do sistema de orientação por inércia usado em aviões. Um IMU trabalha a partir de sensores; os dados recolhidos pelos sensores permite calcular *à posteriori* a posição em que se encontra;
- iii) Unidade de controlo (computador e suporte de armazenamento de dados);
- iv) Scanner LASER, que calcula a distância do sensor até ao objecto presente na superfície [Wehr *et al.*, 1999].

De acordo com Jensen (2007), o funcionamento do LiDAR é feito a partir de um laser de alta precisão presente numa plataforma aerotransportada, que transmite feixes

---

<sup>6</sup> A detecção remota activa funciona a partir da emissão de energia de um sensor para uma determinada superfície, este mede a radiação que é reflectida dos objectos presentes conseguindo assim adquirir as suas características (localização, altura, etc.).

de luz para um espelho que os direcciona para a superfície terrestre. O raio laser varre a superfície e regista a distância ao solo dos diferentes pulsos enviados. A medição da distância é feita a partir do tempo gasto desde a altura de saída do sensor até a sua reflexão vinda da superfície, registando ainda o ângulo de cada pulso correspondente à vertical do respectivo lugar (Figura 11).



**Figura 11** – Aquisição de dados LiDAR

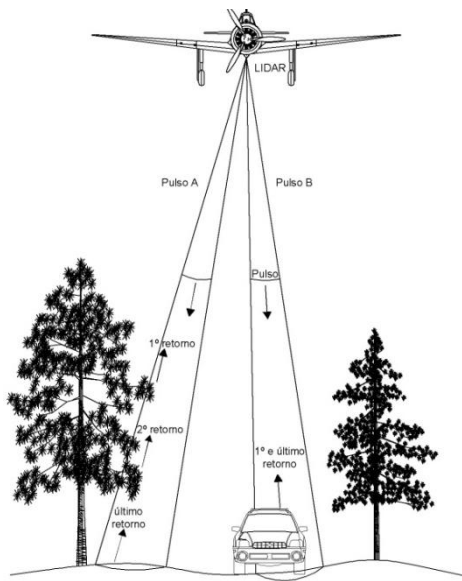
Baseado em Jensen, 2007

Os sinais reflectidos pela superfície (retornos) são recebidos por uma unidade (receptor) presente na aeronave que converte o sinal óptico em sinal electrónico. Existem certos sistemas LiDAR que permitem registar vários retornos para cada pulso laser enviado, o que acontece devido ao pulso ser constituído por um ângulo sólido, tendo uma amplitude angular o que dá origem a uma impressão no solo (*footprint*) de forma circular. A especificidade do sistema laser e dos elementos presentes na superfície pode originar que parte da energia incidente do pulso, ao atravessar determinados objectos, seja reflectida pela superfície do objecto enquanto a restante atravessa o objecto, sendo reflectida posteriormente [Gonçalves *et al.*, 2007].

Assim, a especificidade do objecto origina que cada pulso possa estar associado mais de uma cota, em que a primeira é a cota da reflexão do primeiro sinal de retorno e a seguinte a cota do segundo sinal de retorno.

De acordo com Gonçalves *et al.* (2007), os diferentes sinais de retorno permitem diferenciar os vários objectos presentes na superfície terrestre. Se as cotas do primeiro sinal e do último sinal de retorno forem idênticas, quer dizer que estamos na presença de objectos na superfície terrestre que não são penetráveis pelo pulso laser (e.g. edifícios e carros). Se a cota do primeiro sinal de retorno diferir da cota do segundo sinal de

retorno, quer dizer que estamos na presença de um objecto penetrável (e.g. árvores). Este efeito é ilustrado na Figura 12.

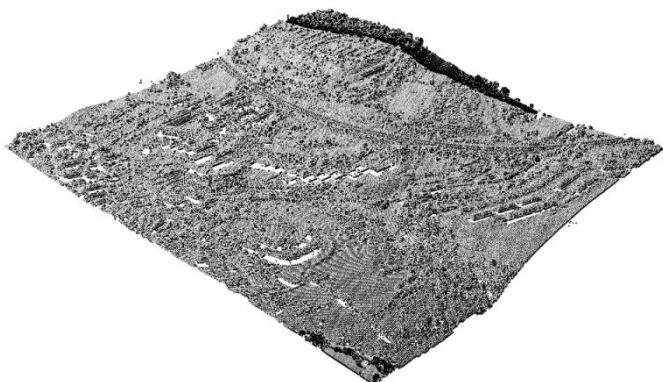


**Figura 12** – Geração de múltiplos retornos a partir de um pulso laser

Baseado em Jensen, 2007

O GPS presente na plataforma aerotransportada permite registrar a posição desta em intervalos fixos. Um outro GPS localizado na superfície possibilita a correcção diferencial, obtendo-se uma melhor exactidão das coordenadas dos pontos adquiridos. Outro dado que esta tecnologia tem em consideração na aquisição da informação é o movimento da aeronave: os ângulos de inclinação são registados a partir de uma unidade inercial, sendo utilizados *à posteriori*, permitindo saber com maior exactidão as coordenadas dos pontos [Wehr *et al.*, 1999].

O LiDAR baseia-se principalmente na aquisição da altura de pontos na superfície, existem alguns sistemas que conseguem ainda ler a intensidade do sinal para cada retorno [Gonçalves *et al.*, 2007], permitindo obter registos contínuos de coordenadas espaciais e criando uma nuvem de pontos tridimensionais (Figura 13), da qual se pode extrair informação pertinente para levantamentos arquitectónicos, cálculos de volumes, modelação de terreno, etc.



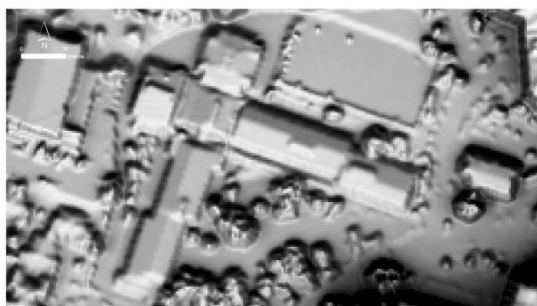
**Figura 13** - Nuvem de pontos LiDAR

### 2.3. Vantagens do registo simultâneo LiDAR / DMC

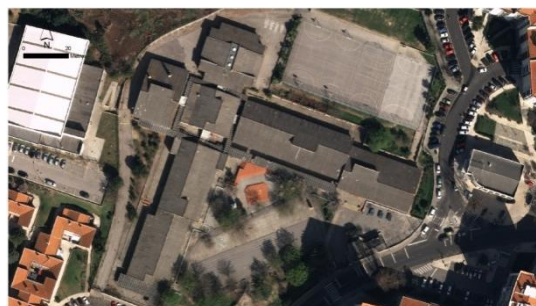
O uso de imagens aéreas digitais em conjugação com dados LiDAR tem sido prática corrente nos últimos anos. O registo simultâneo de ambos começa agora a ser um procedimento normal, apesar de complexo, tornando-se indispensável para o aumento de exactidão dos dados.

O rigor, fiabilidade e densidade dos dados de elevação obtidos a partir do registo simultâneo com a imagem DMC é influenciado por vários factores: i) qualidade dos dados da imagem obtida; ii) algoritmo utilizado de combinação dos dados; e iii) complexidade geométrica dos objectos presentes na superfície.

No que se refere à qualidade da imagem, esta depende da: i) precisão da geometria da imagem; ii) estabilidade geométrica da câmara; iii) fiabilidade e rigor do sensor da câmara [Haala, 2009].



**Figura 14** – Modelo Digital de Superfície a partir de pontos LiDAR



**Figura 15** – Imagem Aérea Digital - DMC

A correspondência entre imagens aéreas digitais e dados altimétricos para fins de orientação para reconstruções 3D tem enorme importância. O registo simultâneo de ambos os dados permite associar a precisão altimétrica, LiDAR, com a resolução radiométrica, imagem aérea digital (Figura 14 e Figura 15).

Esta tecnologia permite identificar elementos em situações onde a superfície apresenta pouca textura, localizar áreas da imagem que apresentem oclusão e identificar estruturas móveis na superfície (automóveis). A classificação da nuvem de pontos proveniente de dados LiDAR é outro elemento que beneficia com o registo simultâneo dos dados, permitindo classificar com maior exactidão os pontos referentes aos objectos na superfície a partir de análise visual de imagem ou de processamento digital de imagem [Haala, 2009].

## 2.4. Modelos de estimativa do potencial solar

Na última década, devido à mediatização do tema do aquecimento global e da dependência energética, têm vindo a ser desenvolvidos modelos solares que permitem estimar a radiação solar presente no território, a várias escalas, possibilitando a implementação de novas políticas energéticas.

Sorensen (2001) desenvolveu um modelo à escala global que permite quantificar o potencial solar fotovoltaico em quatro épocas distintas do ano, num sistema de informação geográfica. Utiliza as médias mensais de dados provenientes de: i) medições de satélite de radiação, albedo, cobertura de nuvens e atenuação de radiação no ar; ii) dados climáticos; iii) equações de equilíbrio e modelos de circulação global. O propósito deste modelo é conseguir quantificar a irradiação solar numa superfície inclinada. O modelo utiliza a latitude do local de instalação como o ângulo óptimo para a instalação de um sistema solar fotovoltaico nas diferentes regiões. Este modelo utiliza o pressuposto que a irradiação solar no mês de Janeiro (e Julho) numa superfície inclinada é a mesma numa superfície horizontal nos meses de Outubro (e Abril), e que a irradiação solar numa superfície horizontal nos meses de Janeiro (e Julho) é semelhante numa superfície inclinada nos meses de Outubro (e Abril). Com base nos pressupostos anteriormente citados, utiliza os dados da irradiação solar de uma superfície horizontal dos meses de Outubro e Abril para obter os valores numa superfície inclinada nos meses de Janeiro e Julho, e calcula os valores para as superfícies inclinadas dos meses de Abril e Outubro a partir de uma média simples dos valores de Janeiro e Julho.

O modelo quantifica apenas 12 % da irradiação solar presente na superfície, considerando que a eficiência típica de um módulo fotovoltaico é de 15%, associando-lhe ainda uma redução de 25%, devido a perdas no processo de conversão da radiação incidente para energia eléctrica. A partir deste método o modelo consegue estimar o potencial solar fotovoltaico para os meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro para qualquer região do globo terrestre [Sorensen, 2001].

O modelo desenvolvido por Hofierka e Sári (2002), denominado por *r.sun*, foi elaborado inicialmente a partir de um modelo anteriormente desenvolvido por Hofierka (1997) e executado a partir de *software* em código aberto. O intuito do aparecimento deste modelo foi de colmatar limitações de outros modelos desenvolvidos, permitindo estimar o potencial solar em diferentes escalas de trabalho, latitudes e relevos (contabiliza a atenuação da radiação solar devido ao sombreamento).

O *r.sun* calcula a radiação global a partir do somatório das componentes de radiação directa, difusa e reflectida, para condições de céu limpo e nebulosidade. Este modelo diferencia-se dos restantes por contabilizar a radiação difusa. O modelo para a radiação difusa, desenvolvido por Muneer (1997), considera uma dependência directa do clima e do relevo presente no território.

Os dados de entrada do modelo são: i) modelo digital de terreno; ii) período temporal; iii) tempo solar local. Outros parâmetros podem ser definidos para uma melhor exactidão do modelo consoante a superfície em análise. Com base nos parâmetros padrão predefinidos permite extrair dois módulos de informação: i) ângulo solar incidente, mapas de radiação solar (directa, difusa e reflectida); ii) mapas da radiação solar (directa, difusa e reflectida) para um dia específico. Outro tipo de informação pode ser retirado do modelo consoante a variação dos parâmetros (mapas de radiação solar sem sombreamento em condições de céu limpo ou nublado). Esta aplicação permite calcular a irradiação solar em qualquer região do globo terrestre com resultados mais generalistas, mas também, o cálculo da irradiação solar ao nível do edifício, possibilitando quantificar a energia produzida por um módulo fotovoltaico [Hofierka e Sári, 2002].

Izquierdo *et al.* (2008) desenvolveram um modelo de estimativa do potencial técnico dos telhados para instalar sistemas solares fotovoltaicos, em áreas urbanas em Espanha. O modelo proposto permite estimar as áreas disponíveis nos edifícios para a implementação de módulos fotovoltaicos, com uma estimativa de erro associado. Só foi tido em conta edifícios presentes em áreas urbanas, desprezando edifícios em áreas industriais (áreas definidas pelo *Corine Land Cover 2000*<sup>7</sup>). O cálculo solar foi estimado apenas para as coberturas dos edifícios, não contabilizando o ganho solar das fachadas. O modelo está decomposto em três objectivos distintos:

- i) Potencial da irradiação solar na área em análise;
- ii) Condicionantes geográficas que possam restringir o ganho da irradiação solar;
- iii) Estimativa do ganho energético tendo em conta a eficiência dos módulos solares fotovoltaicos.

---

<sup>7</sup> Projecto criado a nível europeu com o objectivo de produzir cartografia de ocupação e uso do solo nos países da União Europeia



A irradiação solar do modelo é calculada com base na radiação solar presente, aferida a partir de dados provenientes de estações meteorológicas (Península de Espanha, Portugal, Ilhas Baleares, Ilhas Canárias, Ceuta e Melilha), originando deste modo mapas de irradiação solar mensais com uma resolução espacial de 200m, que têm em consideração a influência de horas de sombreamento mensais, calculadas a partir de um modelo digital de terreno.

Para a estimativa da área de cobertura disponível na superfície em estudo, o modelo baseia-se numa amostragem estatística de áreas representativas de tipologias de edifícios em cada concelho, ou em áreas administrativas inferiores. A tipologia de edifícios tem em consideração duas variáveis: a densidade de construção e a densidade populacional. Para identificar a área da cobertura para a implementação de sistemas solares fotovoltaicos são aplicados três factores: i) sombreamento; ii) área de buraco dentro de edifício (pátio, jardim); iii) área para outras aplicações. Na quantificação do processo de conversão de energia eléctrica, o modelo apresenta uma eficiência por painel solar fotovoltaico de 14,7%. Este modelo permite estimar o potencial solar fotovoltaicos na cobertura dos edifícios para médias e grandes escalas de trabalho [Izquierdo *et al.*, 2008].

Kassner *et al.* (2008) utilizou dados LiDAR para desenvolver um modelo que permite identificar e analisar o potencial solar das coberturas dos edifícios. O modelo foi testado em 13 edifícios com uma morfologia de cobertura variada, numa área urbana na Alemanha. A análise da cobertura foi feita a partir de dois modelos digitais de elevação:

- i) Modelo digital de terreno, com informação referente à elevação do terreno, excluindo os edifícios e a vegetação presente, com uma média de pontos de 1 a 5 metros e precisão de altura de 50 cm;
- ii) Modelo digital de superfície, com informação referente à elevação de objectos presentes na paisagem como edifícios, vegetação e outro tipo de estruturas, com uma média de pontos 1 a 2 metros e precisão de altura de +/- 30 cm.

A avaliação da qualidade dos resultados provenientes do LiDAR foi feita a partir de uma imagem aérea e de *software* CAD, produzindo-se um modelo tridimensional da cobertura dos edifícios.

A partir do modelo 3D produzido, utilizaram os limites dos edifícios para filtrar os pontos provenientes dos dados LiDAR, ficando apenas com informação referente à cobertura dos edifícios. Para obterem uma melhor exactidão do modelo criado da cobertura, foi cruzada informação referente ao modelo digital de terreno, limites das coberturas e pontos LiDAR, eliminando-se todos os pontos que apresentasse uma altura inferior a 3 metros. A identificação do tipo de cobertura foi efectuada a partir de uma interpolação *raster* dos pontos LiDAR, permitindo classificar as coberturas em dois tipos: i) coberturas planas ( $<10^\circ$ ); ii) coberturas inclinadas (entre  $10^\circ$  e  $60^\circ$ ). A localização de áreas na cobertura para a implementação de sistemas solares fotovoltaicos foi identificada a partir da combinação da informação referente à inclinação e exposição das coberturas. O sombreamento presente nas coberturas foi obtido a partir da sobreposição das sombras projectadas em diferentes posições do Sol, permitindo quantificar a irradiação solar presente na cobertura com maior precisão. O cálculo do potencial solar foi feito com base na premissa de ao saber-se a área da cobertura para exploração solar e da irradiação solar presente pode-se efectuar um prognóstico com algum grau de exactidão de média solar para cada edifício [Kassner *et al.*, 2008].

De acordo com Kassner *et al.* (2008), o modelo apresenta resultados bastantes satisfatórios em coberturas de estruturas simples ou planas. Em coberturas com uma estrutura mais complexa os resultados foram menos satisfatórios, propondo-se a utilização de uma maior densidade de pontos LiDAR na extracção do modelo digital de superfície.

Carneiro *et al.* (2008) desenvolveram um modelo, a partir de dados LiDAR e de técnicas de processamento de imagem, para análise da radiação solar em contexto urbano. Os dados LiDAR utilizados apresentam uma densidade de pontos elevada (4 a 6 pontos por  $m^2$ ), com uma precisão planimétrica de 20 cm e altimétrica de 15 cm. A metodologia utilizada no modelo é definida em 4 etapas:

- i) Construção de um modelo urbano 2.5D;
- ii) Análise ambiental a partir de processamento de imagem de modelos urbanos;
- iii) Visualização dos resultados obtidos;
- iv) Avaliação dos resultados pelos utilizadores.

Para a obtenção do modelo 2.5D urbano, procedeu-se à elaboração de modelos digitais de elevação. Na elaboração do modelo digital de terreno foram excluídos todos os

pontos LiDAR; i) localizados no interior dos edifícios; ii) área de 2 m do limite exterior do edifício; iii) pontos considerados *outliers*. Após este procedimento os pontos LiDAR foram interpolados, usando o método de triangulação, originando o MDT. Os pontos localizados dentro dos edifícios permitiram a modelação das coberturas dos edifícios, a partir do mesmo método utilizado no MDT, originando um modelo tridimensional apenas dos edifícios. A etapa precedente foi a união de ambos os modelos, originando um modelo urbano 2.5D. Para suavizar as fachadas dos edifícios, foi utilizado um filtro de baixa frequência de 3 por 3.

De acordo com Carneiro *et al.* (2008), o modelo 2.5D produzido serve de base para o cálculo da radiação solar presente na área em estudo. Esta aplicação tem dois objectivos: i) determinar a taxa de acessibilidade das superfícies urbanas à radiação solar directa; ii) quantificar a radiação solar (directa e difusa) nas fachadas e coberturas dos edifícios. Os resultados dos cálculos são fornecidos em matrizes de dados, com valores da radiação para cada andar, fachada e cobertura, e um mapa de radiação solar. O cálculo do modelo necessita de dois tipos de dados de entrada: i) dados geográficos e climáticos, que permitem saber a irradiância média diária das superfícies horizontais para cada mês do ano; ii) modelo urbano. O modelo necessita ainda de uma lista de máscaras para um correcto funcionamento, nomeadamente: i) modelo digital de elevação; ii) edifícios; iii) rótulos dos edifícios e fachadas; iv) descrição das coberturas (orientação e inclinação). Este procedimento possibilita quantificar de modo distinto a irradiação solar na cobertura e na fachada do edifício. O sombreamento presente nas áreas urbanas é tido em conta no modelo, detectando a quantidade de *pixels* presentes na fachada e/ou cobertura que têm sombra em cada hora do dia. Este método permite analisar o desempenho energético em superfícies verticais à escala local, possibilitando avaliar o impacto de novas construções na área que se está a estudar. O modelo quantifica ainda, numa base horária, a radiação solar presente nas coberturas dos edifícios e a sua exposição solar (luz ou sombra). Os resultados obtidos pelo modelo podem ser visualizados em 2D (mapas que indicam o desempenho da fachada do edifício) ou em 3D (radiação solar presente em cada edifício) [Carneiro *et al.*, 2008].

## 2.5. Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica

A informação sobre a radiação solar é essencial em todas as etapas na projecção de um sistema fotovoltaico, estatísticas de radiação solar confiáveis (médias mensais, estatística probabilística, meteorologia típica anual, etc.) são imprescindíveis para a concepção do sistema de localização [Súri, 2007].

Actualmente existem vários sistemas de integração de dados e ferramentas de avaliação que disponibilizam informação de radiação solar e outros dados climáticos numa cobertura global e continental (Atlas Europeu de Radiação Solar, MeteoNorm, SoDa, Satel-Light, NASA SSE e NREL), estes apesar de disponibilizarem informação relevante de análise, têm uma desvantagem que é a sua resolução espacial (1° x 1° NASA SSE, 5' x 5' AERS, 40 x 40 km NREL).

O aparecimento do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica (Photovoltaic Geographic Information System - PVGIS) veio colmatar o défice da resolução espacial de outros sistemas (1 km x 1 km PVGIS) traduzindo-se numa maior precisão, particularmente em áreas montanhosas onde a exactidão dos dados é menor, melhorando as estimativas da radiação solar [Súri *et al.*, 2005].

O PVGIS é uma base de dados geográfica que fornece informação, a partir da internet, de dados de radiação solar e temperatura do ar na Europa e regiões vizinhas permitindo calcular o desempenho de sistemas fotovoltaicos, e de dados de radiação solar na África e sul da Ásia Ocidental.

O Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica fornece dois tipos de informação distinta: i) informação genérica sobre a energia solar e o clima de uma determinada região; ii) estimativa do rendimento potencial de um sistema fotovoltaico [Súri *et al.*, 2008].

A informação existente nas bases de dados de clima no PVGIS difere de região para região no que se refere aos dados e serviços disponíveis. O cálculo da informação existente em cada base de dados é auxiliado a partir dos seguintes dados:

i) SRTM-3 – O *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) é uma colaboração entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) que têm vindo a adquirir nos últimos anos dados

de radar interferométricos, com o objectivo de conceber uma base de dados de alta resolução topográfica da Terra para latitudes menor que 60° [Rodriguez et al., 2005];

ii) *Corine Land Cover* 2000 - É um projecto inserido no programa *Corine*<sup>8</sup> que tem como propósito produzir cartografia de ocupação de uso do solo em países da União Europeia [Painho e Caetano, 2006];

iii) *Global Land Cover* 2000 - É um projecto, com a colaboração de 30 instituições de todo o mundo, que produziu classificações de uso do solo à escala global, o seu propósito foi de fornecer base de dados de uso do solo normalizadas para o ano 2000. A metodologia do projecto consistiu na definição de 19 regiões, em que cada foi analisada por diferentes especialistas, originando classificações de uso do solo de elevada exactidão. Foram utilizados um conjunto de dados VEGA2000 (*Vegetation Data for the Millennium Ecosystem Assessment*), adquiridos pelo SPOT4/*Vegetation* (VGT) [Latifovic et al., 2004];

iv) Limites administrativos e localização das cidades

De acordo com Sári et al. (2008), a base de dados europeia é feita a partir do cruzamento entre o modelo de radiação solar *r.sun* e de interpolação espacial. O modelo *r.sun* utiliza diferentes dados de entrada para o cálculo da radiação solar;

i) Modelo Digital de Elevação calculado a partir dos dados provenientes do SRTM3, com uma resolução espacial de 920 m para base de dados primária e análise espacial, e de 92 m de resolução espacial em aplicações para internet, excepto em latitudes acima de 60° norte em que apenas existe dados com resolução espacial de 920 m;

ii) Factor de turbidez atmosférica de Linke para massa de ar 2, que tem em conta a carga de aerossóis e poeiras presentes na atmosfera e que reduz a radiação solar directa, obtendo-se a média do estado óptico da atmosfera sem nuvens para cada mês;

iii) Coeficientes de céu límpido  $K_{cb}$  e  $K_{cd}$ , estes coeficientes foram retirados de 566 estações meteorológicas<sup>9</sup> e são usados para transformar o feixe de radiação solar e a irradiação difusa, que o modelo usa, para calcular os valores reais de radiação solar presentes em condições de céu límpido.

---

<sup>8</sup> Projecto elaborado pela Comunidade Europeia em 1985 com o objectivo de criar um sistema de informação do estado do ambiente da Europa.

<sup>9</sup> Dados compreendidos entre o período de 1981-1990

O modelo *r.sun* tem ainda em conta o sombreamento produzido a partir de obstáculos presentes na superfície, este é calculado a partir do modelo digital de elevação proveniente dos dados do STRM3.

A avaliação da exactidão do modelo foi calculada para o modelo de irradiação global na superfície horizontal, comparando as médias anuais totais do modelo com os dados provenientes das 539 estações meteorológicas, os valores resultantes traduzem-se num desvio das estimativas de +/-5% de margem de erro para 92% das estações meteorológicas. Referente à exactidão do modelo para os resultados da media diária da irradiação global horizontal obteve-se um desvio da estimativa de +/- 7,2% de margem de erro para 90% das estações meteorológicas [Súri *et al.*, 2008].

A aplicação da internet PVGIS permite com o mínimo de parâmetros (coordenadas do local ou nome da cidade), calcular o valor de irradiação solar como também estimar a produção de um sistema solar fotovoltaico, para uma determinada região, mensalmente.



### 3.2. Área de experimentação

A área de experimentação considerada é um extracto do centro urbano da Vila de Carnaxide (Figura 17) pertencente ao Concelho de Oeiras, caracterizada por uma elevada heterogeneidade de elementos urbanos. A área de estudo analisada apresenta grande variedade de edifícios com diferentes formas, tamanhos e diferentes funções (edifícios residenciais unifamiliares e plurifamiliares, serviços e anexos).



**Figura 17** - Localização da área de estudo



### 3.3. Dados

#### 3.3.1. DMC

A imagem utilizada (Figura 18) faz parte da Missão 07/09, cobertura aerofotográfica levada a cabo pela empresa Municípiã, S.A. Esta Missão abrange a área do concelho de Oeiras. Foi realizada no dia 25 de Fevereiro de 2009, entre as 10h47 (início da Missão) e as 11h59 (fim da Missão).

Por se tratar de uma cobertura aerofotográfica para fins de produção cartográfica, esta foi realizada com a câmara em ângulo recto, mantendo sempre a verticalidade no local do disparo. O ângulo solar durante toda a Missão foi de 30°.

Para garantir os níveis de sobreposição exigidos, foram utilizados comprimentos de base na ordem dos 233 m transversais e 410 m longitudinais, para um nível médio de voo de 1.106 m (3.630 ft.).

A cobertura aerofotográfica executada é constituída por 11 fiadas, com um total de 378 imagens, da qual utilizou-se a imagem número 244 da fiada 4 em que apresenta uma área de 1.060.200m<sup>2</sup> (775x1368).

A aquisição desta imagem aérea digital foi realizada através da câmara aerofotogramétrica digital DMC da *Intergraph*. A Tabela 1 especifica os dados referentes à câmara aerofotogramétrica digital DMC.

**Tabela 1** - Especificações da câmara aerofotogramétrica digital DMC

Designação	Especificação
Tipo de sensor	Area CCD
Distância focal	120 mm (25 mm multiespectral)
Campo de visão	74 ° x 44 °
N.º CCD linhas/matriz câmara	8
N.º CCD através da faixa	13,824 (pan)
N.º CCD ao longo da faixa	7,680 (pan)
Tamanho do sensor	12 µm
Resolução radiométrica	12 bits
Resolução espectral (nm)	400 - 675 (pan)
	400 - 580 (blue)
	500 – 650 (green)
	590 – 675 (red)
Resolução espacial	675 – 850 (NIR)
	0,1 m



**Imagem DMC**

Composição Colorida - Red (Banda 1) Green (Banda 2) Blue (Banda 3)

**Figura 18 - Imagem aérea digital (DMC)**

### 3.3.2. LiDAR

Os dados LiDAR utilizados (Figura 19) fazem parte do projecto P/01273 da cobertura levada a cabo pela empresa Municípi, S.A. Este projecto abrange a superfície do concelho de Oeiras com uma área de 45.774.084 m<sup>2</sup>, realizada no dia 27 de Julho de 2009.

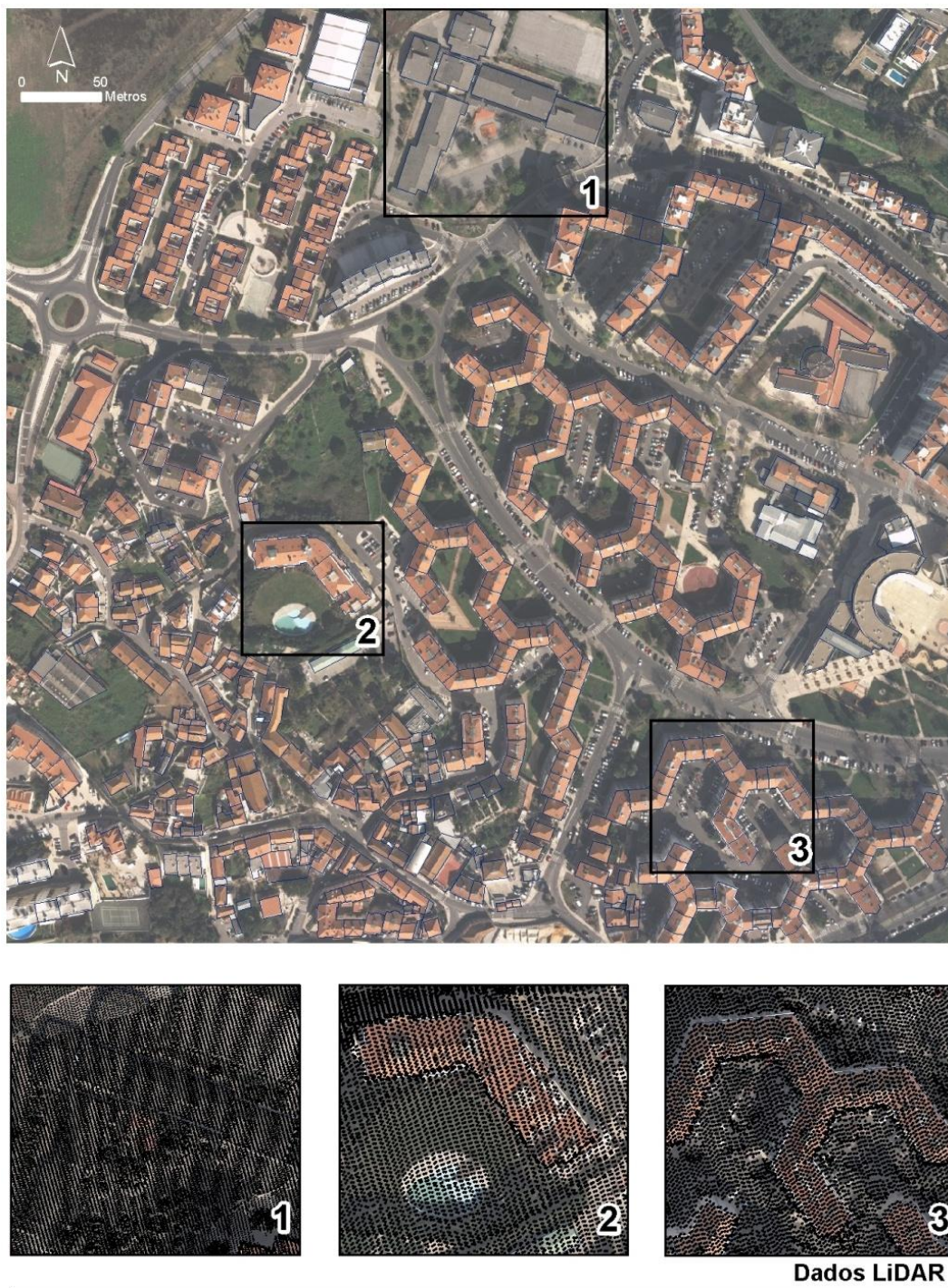
A cobertura executada é constituída por 6 fiadas, com um total de 72 superfícies, das quais foram utilizadas as superfícies com o número 22 da fiada 3 e 32 da fiada 4.

A aquisição dos dados foi realizada através do equipamento LiDAR Leica ALS60. A Tabela 2 especifica os dados referentes ao equipamento e dados provenientes do equipamento LiDAR Leica ALS06.

**Tabela 2** - Especificações do equipamento e dados provenientes do equipamento LiDAR Leica ALS06

Designação	Especificação
Campo de visão (graus)	58
Taxa de varrimento (Hz)	43,5
Pulso laser (Hz)	130000
Controlo laser (%)	75
Altitude (m)	1.500
Superfície n.º 22	
Número de pontos	1.468.732 [1]: 1.368.736
Número de pontos por retorno	[2]: 94.245 [3]: 5.650 [4]: 101
Espaçamento entre pontos aproximado (m)	1,460508
Comprimento (km)	11,310
ALT MSL(ft)	5282
Min ALT AGL (m)	1409,900
Max ALT AGL (m)	1574,900
Superfície n.º 32	
Número de pontos	852.791 [1]: 802.615
Número de pontos por retorno	[2]: 47.423 [3]: 2.647 [4]: 106
Espaçamento entre pontos aproximado (m)	0,07253275
Comprimento (km)	13,110
ALT MSL(ft)	5233
Min ALT AGL (m)	1437,900
Max ALT AGL (m)	1574,900





**Figura 19 - Dados LiDAR**

#### **4. EXTRACÇÃO DE INFORMAÇÃO**

Podem-se utilizar 3 métodos distintos para a obtenção de dados para a elaboração de mapas de ocupação do solo de áreas urbanas: i) dados recolhidos no terreno; ii) fotografia aérea; iii) imagem de satélite.

A extracção da informação a partir de imagens de alta resolução espacial (fotografia aérea digital e imagem de satélite) pode ser executada a partir de dois processos: i) processamento digital da imagem; ii) análise visual de imagem.

Estas imagens encontram-se em formato digital, sendo constituídas por matrizes em que cada quadrícula da matriz corresponde a uma determinada área do terreno. Essa quadrícula tem associado um número digital; cujo valor corresponde à quantidade de energia reflectida pelo objecto em diferentes bandas do espectro. Esta informação espectral pode ser analisada através de metodologias de classificação, das quais se distinguem 2 tipos: i) classificadores supervisionados (com base em classes previamente estabelecidas); ii) classificadores não supervisionados (aplicação de métodos estatísticos para agrupamento de dados com respostas espectrais semelhantes). As classificações podem ser realizadas através da análise “pixel a pixel” (utilizando apenas a informação espectral de cada pixel para determinar a classe mais provável do pixel) ou orientada ao objecto.

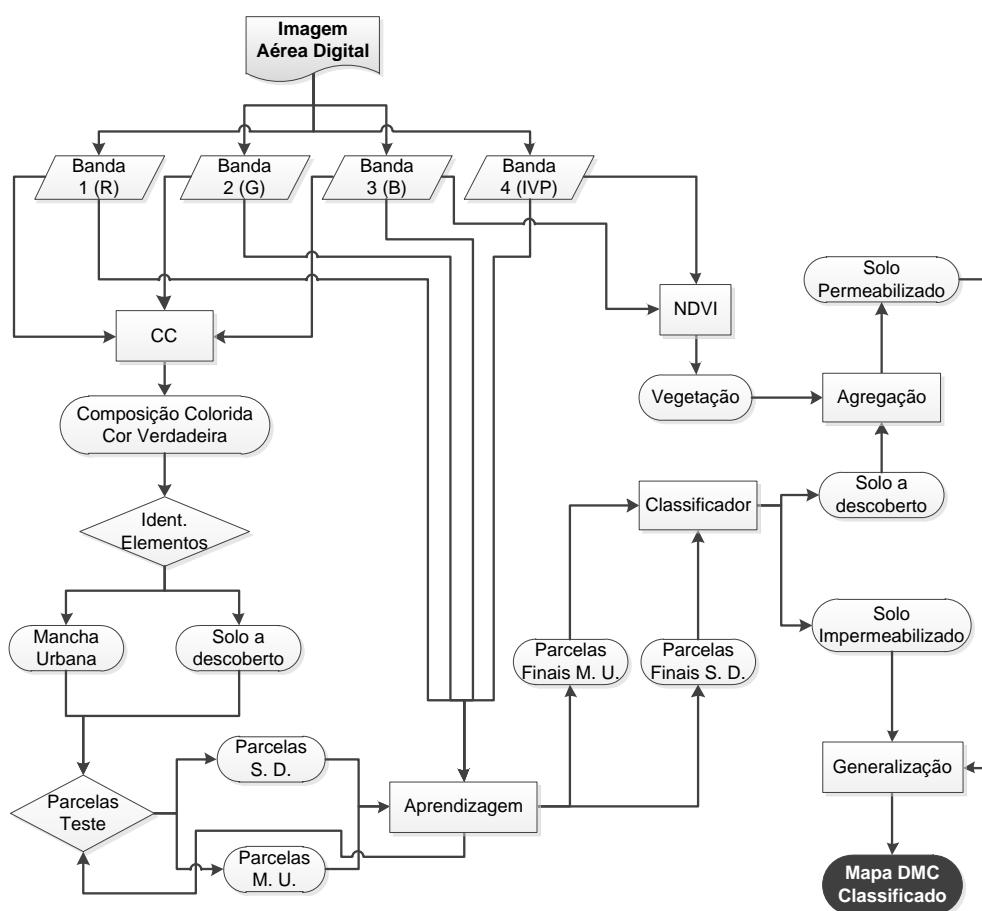
Na classificação orientada por objectos a análise é feita sobre os objectos ou partes da imagem oferecendo algumas vantagens sobre o método tradicional baseado no pixel [Benz *et al.*, 2004]. A classificação orientada a objecto inicia-se com a segmentação da imagem em objectos homogéneos. Esta segmentação inicial reduz a variabilidade espectral dentro de cada classe. Os objectos são depois classificados de acordo com uma hierarquia de classes. Ao contrário da classificação ao nível do pixel, que apenas utiliza a cor, a classificação orientada a objecto recorre a atributos como a escala, cor, textura, localização ou o contexto geográfico.

#### 4.1. Extracção de informação a partir de imagem DMC

A extracção da informação foi produzida a partir de quatro bandas espectrais provenientes da câmara fotogramétrica digital DMC, três bandas espectrais no domínio do visível (azul, verde e vermelho) e uma banda espectral no domínio do infravermelho (infravermelho próximo), com recurso à extensão *Feature Analyst 4.2* para o *ArcGIS*.

Os princípios básicos de extracção de classes de objectos a partir desta extensão são: i) digitalização de áreas de treino; ii) parametrização de elementos espectrais; espaciais e matemáticos; iii) pós-processamento dos resultados de modo a aperfeiçoar os resultados obtidos corrigindo as classes de objectos; iv) melhoramento do modelo de extracção seleccionando os objectos incorrectos, correctos e não classificados.

O propósito desta fase é conseguir identificar a mancha urbana presente na imagem a partir de processamento digital de imagem. O fluxograma de procedimentos descrito (Figura 20) representa os passos metodológicos que foram estabelecidos para alcançar o objectivo estabelecido.



**Figura 20** - Fluxograma de procedimentos de extracção de mancha urbana

#### 4.1.1. Extracção de área permeabilizada

A partir da análise visual da imagem foram identificadas duas classes de objecto na área permeabilizada: i) solo a descoberto; ii) vegetação. O procedimento usado para a extracção das duas classes diferiu na sua metodologia.

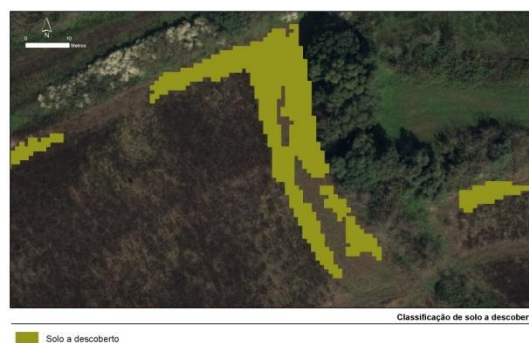
A extracção da classe solo a descoberto foi feita a partir de uma classificação supervisionada com recurso à extensão *Feature Analyst* 4.2. Este processo requer a identificação das áreas de interesse na imagem do objecto que se pretende classificar (áreas de treino) para o reconhecimento espectral da classe.

Para melhorar a precisão da classificação efectuada, o *Feature Analyst* permite identificar os elementos que foram correcta e incorrectamente classificados e também adicionar elementos omitidos. Estes novos exemplos são usados para a produção de uma nova classificação que será, desejavelmente, mais refinada que a anterior.

Foram identificadas 8 áreas de treino para a extracção da classe solo a descoberto (Figura 21). Em termos de área estas representam 1% da área total da imagem a ser classificada. A extracção da classe solo a descoberto identificada na área de estudo representa 4% da área total da imagem (Figura 22).



**Figura 21** - Área treino de solo a descoberto



**Figura 22** - Classificação de solo a descoberto

No processo de identificar áreas de solo a descoberto foi utilizada, no *Feature Analyst*, o algoritmo de representação Manhattan tamanho 5 e uma agregação de área mínima de 25 pixels. Este método é recomendado para a extracção de superfícies impermeabilizadas, lagos, oceanos e solos a descoberto.

A extracção da classe vegetação foi executada a partir do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) desenvolvido por Rouse *et al.* (1974), de acordo com a seguinte fórmula:



$$NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v)$$

Em que:

$\rho_{ivp}$  - Reflectância no infravermelho próximo

$\rho_v$  - Reflectância no vermelho

A equação do NDVI é aplicada directamente em cada pixel nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, obtendo-se um valor que se encontra entre o intervalo -1 e 1.

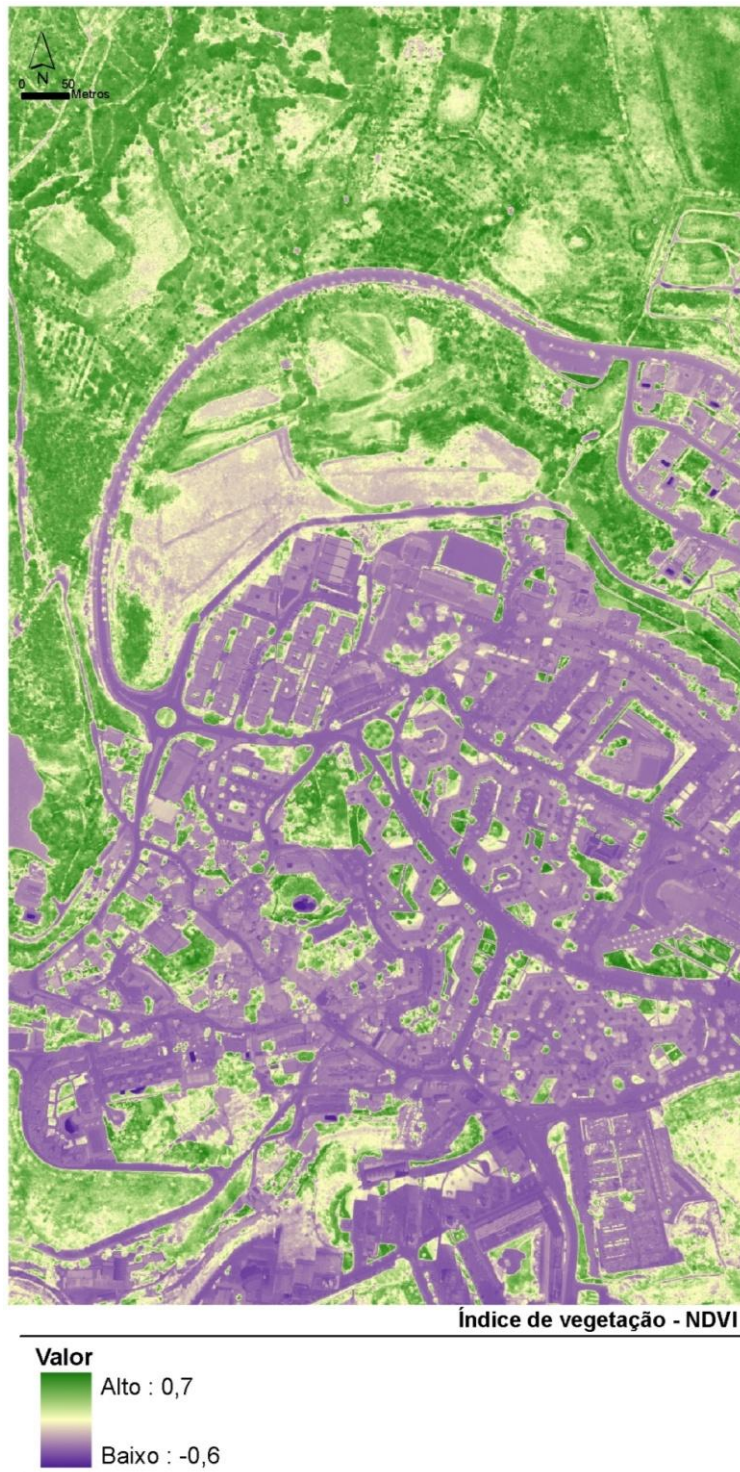
Os índices de vegetação calculados a partir da razão entre bandas de uma imagem têm diferentes propósitos: i) discriminar diferenças de tipos e estados de vegetação; ii) reduzir efeitos indesejáveis nas radiâncias do mesmo tipo de coberto. Estes baseiam-se no facto de a vegetação no seu ciclo de vida apresentar diferentes comportamentos espectrais em diferentes bandas. A vegetação com função clorofilina activa apresenta elevadas reflectâncias no infravermelho e reduzidas na banda vermelha do visível e a vegetação senescente ou morta apresenta reflectâncias equivalentes em ambas.

As diferenças radiométricas existentes entre a vegetação vigorosa e senescente acentuam-se na razão entre bandas, possibilitando uma melhor discriminação de ambos os tipos de coberto [Fonseca e Fernandes, 2004].

O cálculo do NDVI vai permitir a diferenciação da vegetação dos restantes elementos presentes na imagem. Foram extraídas duas classes do NDVI, a classe vegetação representada pela classe compreendida pelos valores de intervalo 0,1 a 0,7 e a classe não vegetação que está inserida no intervalo de 0,1 a -0,6 (Figura 23).

A extracção da classe vegetação identificada na área de estudo a partir do NDVI representa 58% da área total da imagem. A combinação das classes solo a descoberto e vegetação, identificadas como área permeabilizada, representa 62% da área analisada.





**Figura 23** - Índice de vegetação por diferença normalizada NDVI

#### 4.1.2. Extracção de área impermeabilizada

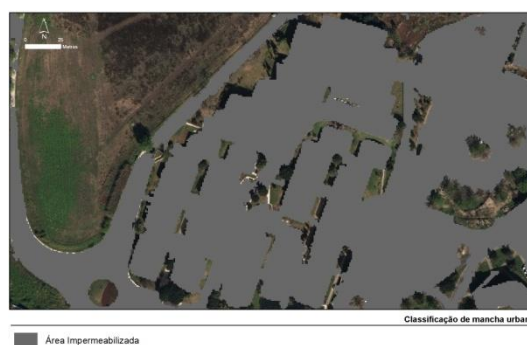
Uma área impermeabilizada pode ser definida como um conjunto de ruas, bairros, edifícios, parques de estacionamento, rede viária entre outros elementos que possam ser identificados numa mancha urbana.

Com base na análise visual da imagem foram identificados vários elementos pertencentes à classe de mancha urbana: i) edifícios; ii) estradas, iii); parques urbanos; iv) cemitério.

Foram delineadas 7 áreas de treino para a extracção da classe mancha urbana (Figura 24), em termos de área estas representam 8% da área total da imagem a ser classificada (Figura 25).



**Figura 24** - Área treino de mancha urbana



**Figura 25** - Classificação de mancha urbana

Esta classificação recorreu ao algoritmo *Manhattan* tamanho 5, agregação de área mínima de 25 pixels e uma máscara de exclusão que compreende a área permeabilizada (solo a descoberto e vegetação).

A extracção da classe mancha urbana identificada como área impermeabilizada na área de estudo representa 36% da área total da imagem.

#### 4.1.3. Pós-processamento

Após a identificação das classes impermeabilizadas e permeabilizada, procedeu-se à sua união permitindo ter uma representação de informação sob uma perspectiva geográfica.

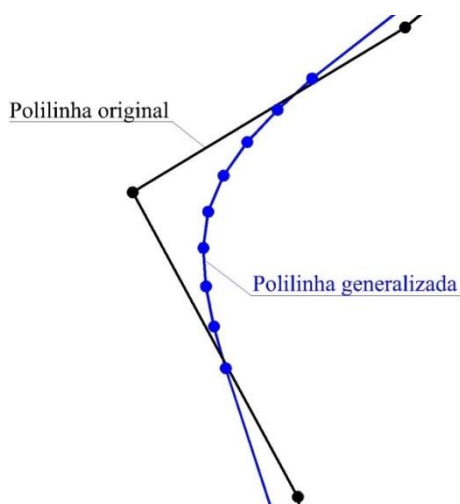
Numa análise preliminar identificou-se que 2% da área da imagem não foi classificada em nenhuma das classes tendo sido desprezada.

Outra das características da classificação é que esta parece ser bastante minuciosa em certas áreas da classe impermeabilizada. Um dos objectivos deste mapa

temático é que represente ambas as classes da forma mais generalista possível pelo que se procedeu a uma suavização e agregação dos polígonos classificados.

O algoritmo usado para suavização dos polígonos foi o PAEK – *Polynomial Approximation with Exponential Kernel* função existente no *ArcGIS* 9.3.

Este algoritmo permite criar mais vértices na linha de origem traduzindo-se numa maior suavização do polígono (Figura 26). A tolerância de suavização, que especifica o comprimento do movimento do trajecto dos pontos ao longo da linha original que vai ser usado para o cálculo de novos vértices, foi de 50 metros.



**Figura 26** - Representação de generalização com PAEK

Quanto maior for a distância entre vértices, maior será a sua suavização. Cada novo vértice é calculado usando a média da distância entre as coordenadas dos pontos [ESRI, 2009].

Após a suavização dos polígonos procedeu-se à agregação dos mesmos, esta tem como função combinar objectos relativamente próximos ou adjacentes originado um novo elemento [Caetano *et al.*, 2001].

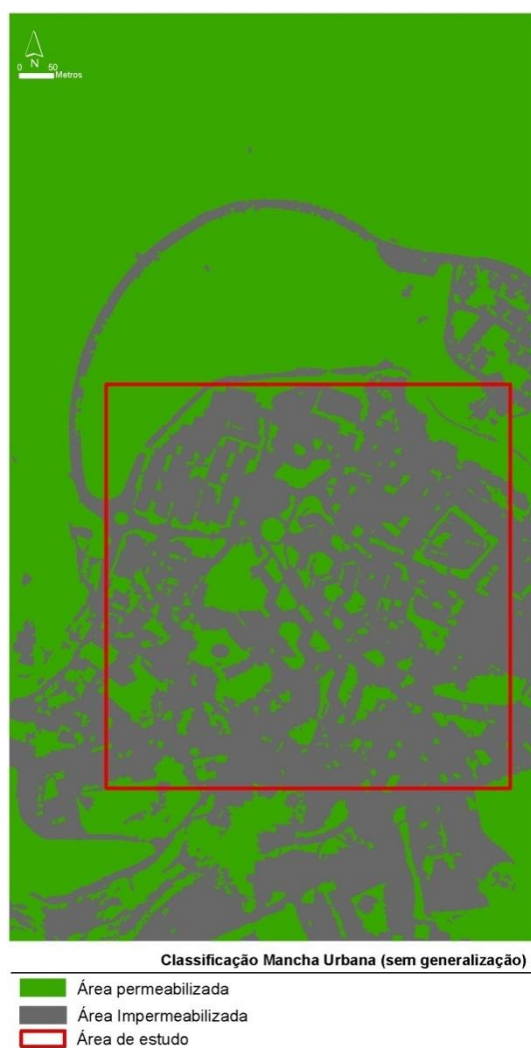
Para o processo de generalização utilizou-se a função *aggregate polygons* presente no *ArcGIS* 9.3 com os seguintes parâmetros: i) 25 metros de distância de agregação; ii) 500 m<sup>2</sup> de área mínima; iii) 15.000 m<sup>2</sup> de tamanho mínimo de abertura.

Numa análise pormenorizada deste processo constata-se que houve um decréscimo da área permeabilizada e um acréscimo da área impermeabilizada após a generalização (Tabela 3).

**Tabela 3 - Resultados de classes extraídas sem e com generalização**

Classe	Sem generalização		Com generalização	
	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
Área permeabilizada	651.330	61	499.192	46
Área Impermeabilizada	422.293	39	574.429	54

Este resultado deve-se a áreas que estavam inseridas dentro da mancha urbana como jardins passem a pertencer à classe de permeabilizado, conseguindo-se assim alcançar o objectivo proposto de identificar uma mancha urbana na imagem (Figura 27 e Figura 28).



**Figura 27 - Mapa temático sem generalização**



**Figura 28 - Mapa temático com generalização**

#### 4.1.4. Avaliação de qualidade

Para aferir a qualidade do mapa temático produzido é necessário avaliar os níveis de conformidade com informação de referência. Para tal, um mapa de referência com as respectivas classes extraídas em processamento digital de imagem foi produzido a partir de uma análise visual de imagem.

Na avaliação da precisão do mapa temático produzido são utilizados métodos de análise estatística multivariada discreta que avaliam, entre outras propriedades, a concordância entre as distribuições estatísticas de variáveis que constituem os atributos de uma imagem e que são alvo de uma classificação cruzada sobre uma amostra de referência [Fonseca e Fernandes, 2004].

No que concerne a análise da tabela de contingências (Tabela 4) referente às classes extraídas, esta apresenta uma classificação bastante satisfatória com uma exactidão global de 94% e índice kappa de 0,88 que representa uma elevada concordância entre a classificação e a referência.

**Tabela 4 -** Matriz de contingência das classes extraídas

Classificação	Referência		Total
	Classe permeabilizado	Classe impermeabilizado	
Classe permeabilizado	489.994	8.878	498.872
Classe impermeabilizado	53.832	520.576	574.408
Total	543.826	529.454	1.073.280

Área (m<sup>2</sup>)

Na atribuição dos pixels da imagem às classes correspondentes pode suceder dois tipos de erros: i) erros de comissão, que consiste em atribuir a uma classe um pixel da imagem que não lhe pertence; ii) erros de omissão, que consiste em não atribuir a uma classe um pixel da imagem que realmente lhe pertence [Fonseca e Fernandes, 2004]. A partir da análise da tabela de erros (Tabela 5) constata-se que ambas as classes apresentam percentagens de erros de comissão e de omissão pouco significativos.

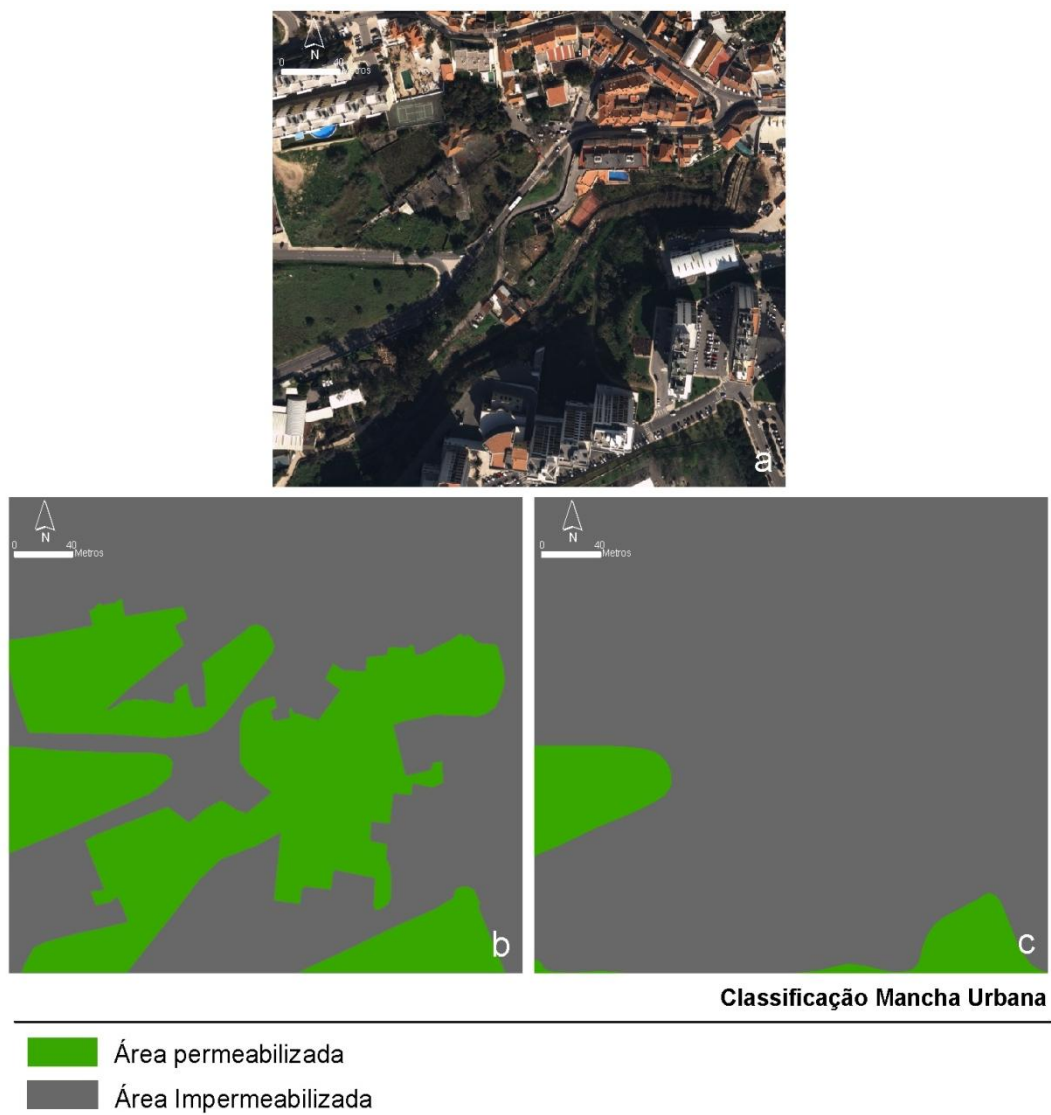
**Tabela 5 -** Tabela de erros de omissão e comissão das classes extraídas

	Precisão do Produtor	Precisão do Utilizador	Erros Omissão	Erros Comissão
Classe permeabilizado	90	98	10	2
Classe impermeabilizado	98	91	2	9

Valores em %



Os erros existentes são explicados por pequenas áreas rurais dentro da mancha urbana que foram classificados na classe de impermeabilizado (Figura 29).



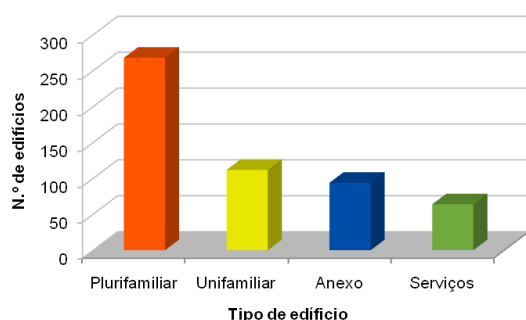
**Figura 29** – Classificação de mancha urbana: a) Imagem DMC; b) Classificação de referência; c) Classificação automática com generalização

## 4.2. Levantamento funcional

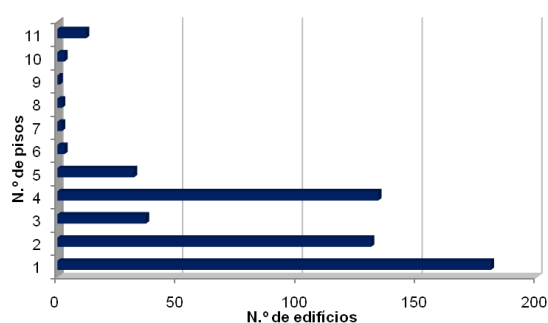
A área de estudo é composta por uma variedade de tipologias de edificado (Figura 36). Para uma descrição mais exaustiva destas foi efectuado um levantamento funcional das actividades aí presentes assim como as características mais relevantes para uma melhor caracterização.

Após o levantamento funcional procedeu-se à vectorização dos edifícios a partir da análise visual com auxílio da imagem digital proveniente da câmara aerofotogramétrica digital DMC a uma escala de digitalização de 1:1000.

Esta área é composta por 538 edifícios das mais distintas formas, dimensões e funcionalidades (Figura 30 e Figura 31). Com base no levantamento executado foram considerados quatro tipos de edifícios: i) plurifamiliar; ii) unifamiliar; iii) anexo; iv) serviço.



**Figura 30 - Tipologia de edifícios**



**Figura 31 - N.º de edifícios**

Constatou-se que 71% dos edifícios apresentam uma funcionalidade residencial. Destes, identificou-se que 70% são habitações plurifamiliares (Figura 32) enquanto os restantes 30% são habitações unifamiliares (Figura 33). Das habitações plurifamiliares, 9% são considerados edifícios mistos, integram a função residencial e de serviço (café, restaurante, agência bancária, cabeleireiro, etc.).



**Figura 32 - Habitações Plurifamiliares**



**Figura 33 - Habitações Unifamiliares**

Foram considerados edifícios não habitados como aqueles que apresentassem ser um anexo ou que oferecessem algum tipo de serviço na sua totalidade. Nesta análise

identificou-se que 29% dos edifícios da área em estudo não apresentam qualquer tipo de função residencial. Destes, 60% foram identificados como anexos (Figura 34) e os restantes 40% foram considerados edifícios de serviços (escolas, centro de saúde, esquadra, escritórios, casa de saúde, jardim de infância, etc.) (Figura 35).

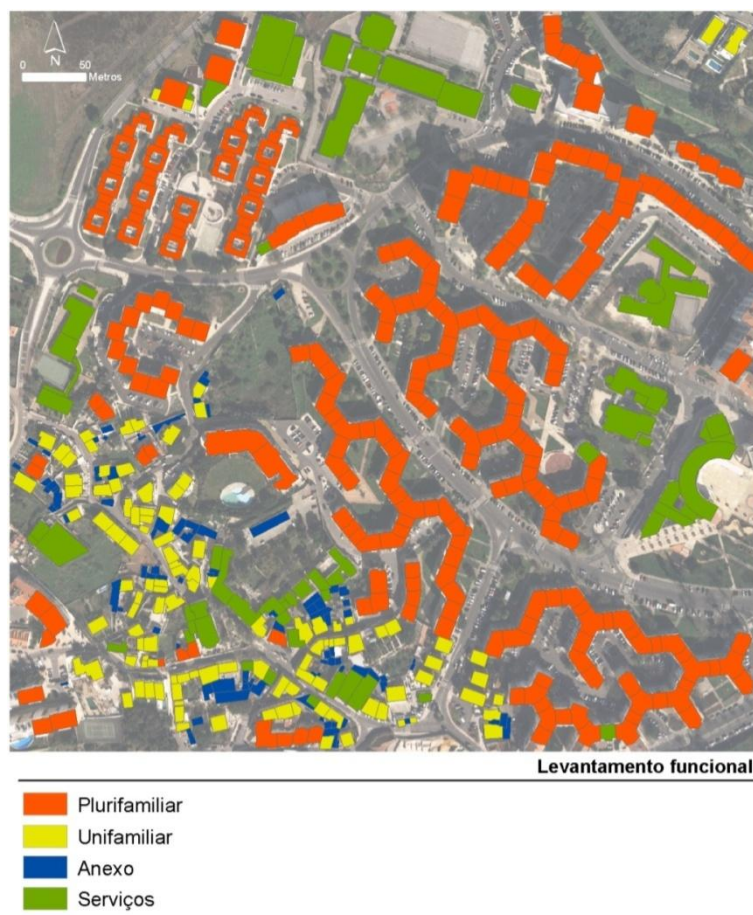


**Figura 34 - Anexo**



**Figura 35 - Casa de saúde**

No que se refere à altura dos edifícios, a área é descrita por uma heterogeneidade de número de pisos, que varia entre 1 a 11 pisos. Em termos médios, registam-se 3 pisos por edifício, caracterizando-os pelas diferentes tipologias os seus valores médios são: i) plurifamiliares 4 pisos; ii) unifamiliares 2 pisos; iii) anexos 1 piso; iv) serviços 2 pisos (Figura 31).



**Figura 36 - Levantamento funcional da área de estudo**



## 5. EXTRACÇÃO DE MODELOS DE ELEVAÇÃO DIGITAL

A informação sobre a altimetria pode ser representada de diversas formas: modelo matricial, modelo vectorial e *Triangular Irregular Network* (TIN). Qualquer um destes modelos pode ser analisados em conjunto ou com outro tipo de dados num sistema de informação geográfica [Jensen, 2007].

Um modelo digital de elevação terrestre é genericamente denominado modelo de elevação digital. Se contiver informação referente à elevação de objectos presentes na paisagem como edifícios, vegetação e outro tipo de estruturas então denomina-se como Modelo Digital de Superfície (MDS). Se contiver informação referente à elevação de solo a descoberto, em que toda a informação da elevação dos edifícios, vegetação e outras estruturas foi removida, então é intitulado Modelo Digital de Terreno (MDT).

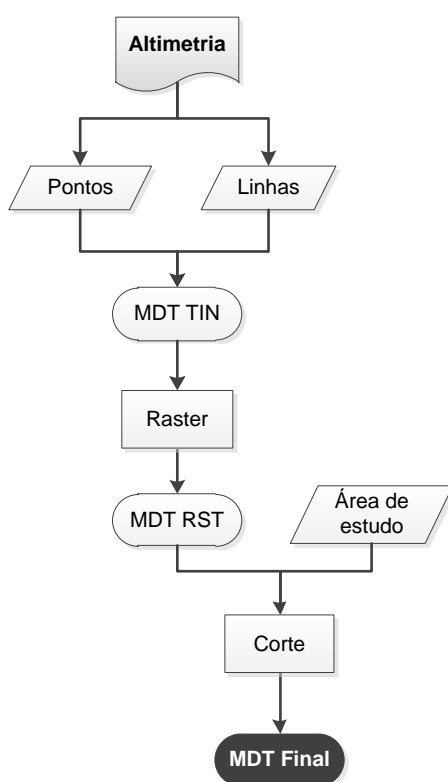
Existem quatro tipos de tecnologias que permitem a obtenção da informação necessária para a criação de modelos de elevação digital:

- i) Levantamento de campo, usando ferramentas convencionais de levantamento ou GPS para aquisição de informação de coordenadas x, y e z.
- ii) Fotogrametria, a partir de um procedimento métrico pode-se obter informação de um objecto através de medições em pares fotográficos.
- iii) *Synthetic Aperture Radar Interferometry* (INSAR), técnica que a partir do sinal RADAR permite medir a topografia de uma superfície como as suas mudanças ao longo do tempo.
- iv) *Light Detection and Ranging* (LiDAR), técnica que consiste num sistema de controlo, transmissão e de recepção a bordo de um avião, que permite a aquisição de informação na superfície terrestre nos mais variados terrenos. Esta tecnologia é usada para fornecer dados de elevação de alta precisão bastante usada para a produção de mapas topográficos.

### 5.1. Modelo Digital de Terreno

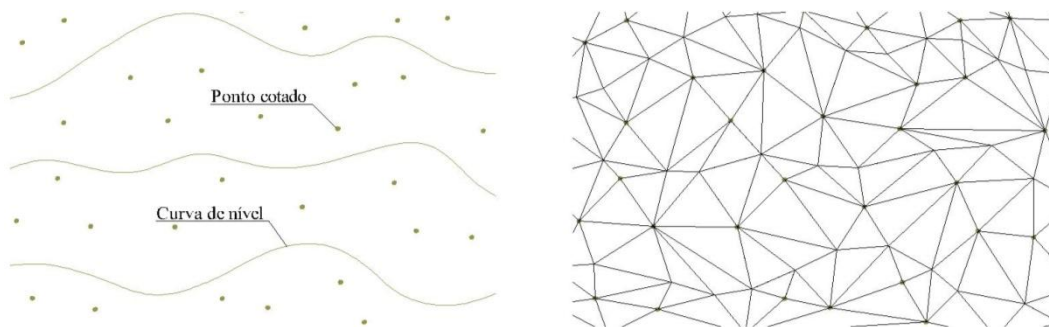
No âmbito dos sistemas de informação geográfica, o MDT pode ser definido como sendo um conjunto de informação em suporte numérico que, para uma determinada área, permite associar a um determinado ponto definido sobre um plano cartográfico um valor respectivo à sua altitude [Matos, 2008]. O nível de exactidão de um MDT depende da escala de aquisição da informação, bem como da precisão dos dados topográficos utilizados.

O fluxograma de procedimentos apresentado na Figura 37 representa os passos metodológicos que foram estabelecidos para extrair o MDT.



**Figura 37** - Fluxograma de procedimentos de MDT

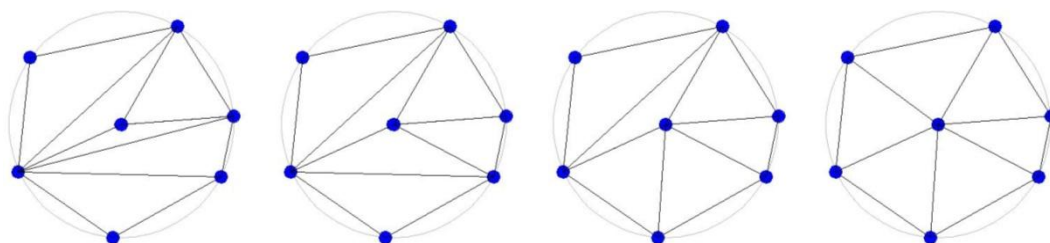
O processo de construção do MDT recorreu a um conjunto de pontos altimétricos ( $9.206 \text{ pontos/km}^2$ ) e curvas de nível (equidistância de 1m) (Figura 40), fornecidos pela Câmara Municipal de Oeiras. O 1º passo consistiu na geração de um TIN, formando-se um conjunto de faces triangulares calculadas com base na interpolação dos pontos presentes nos dados de entrada, originando vértices nos triângulos com coordenadas (x,y,z) (Figura 38).



**Figura 38 - Método TIN a) Pontos e curvas de nível; b) Triangulação**

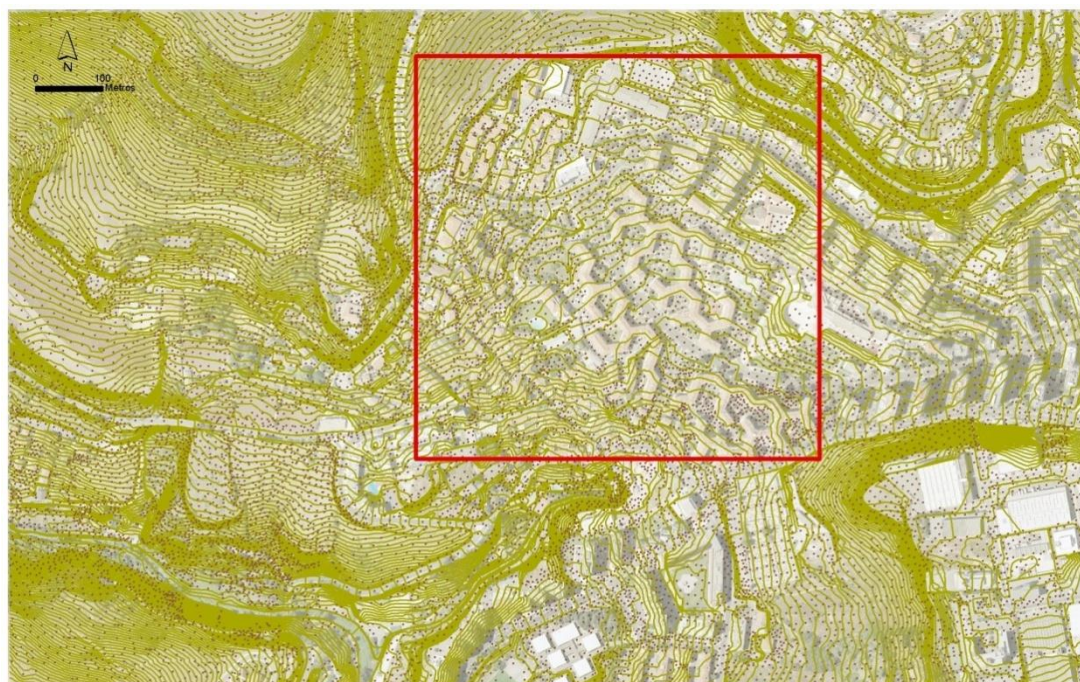
O método de triangulação escolhido satisfaz os critérios de triangulação de *Delaunay*, o mais utilizado na construção de modelos digitais de terreno. O método utilizado garante que nenhum vértice fica no interior de qualquer circuncírculo. O método de triangulação tem em conta os vértices dos dados de entrada (pontos cotados e curvas de nível), permanecendo assim os mesmos vértices no modelo criado, permitindo preservar a precisão desses dados e simultaneamente modelar os valores entre os pontos conhecidos (Figura 39) [ESRI, 2009].

Após o critério de *Delaunay* ser satisfeito no modelo de triangulação, o ângulo mínimo interior de todos os triângulos é maximizado.



**Figura 39 - Algoritmo de *Delaunay* simples**

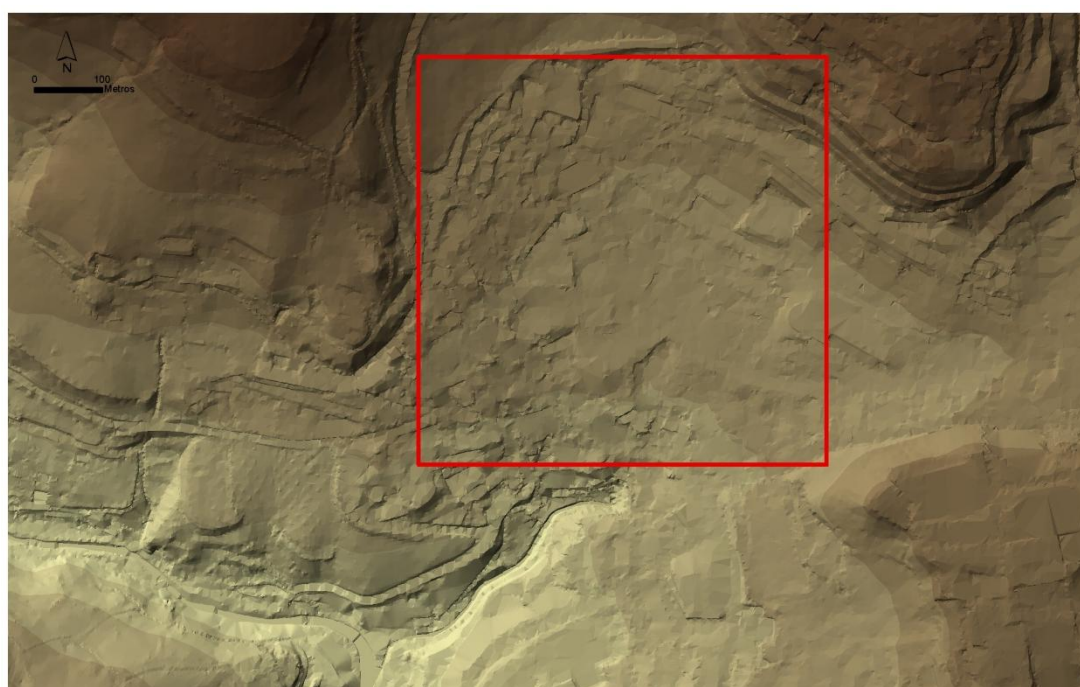
Posteriormente à criação da rede triangular irregular, esta foi convertida numa grelha matricial com uma resolução espacial de 1 metro, que corresponde então ao MDT final da área de estudo (Figura 41).



Dados para Modelo Digital de Terreno

- Pontos altimétricos
- Curvas de nível
- ▭ Área de estudo

**Figura 40 -** Dados de entrada para Modelo Digital de Terreno



Modelo Digital de Terreno

- Valor (metros)
- Alto : 164
  - Baixo : 18
  - ▭ Área de estudo

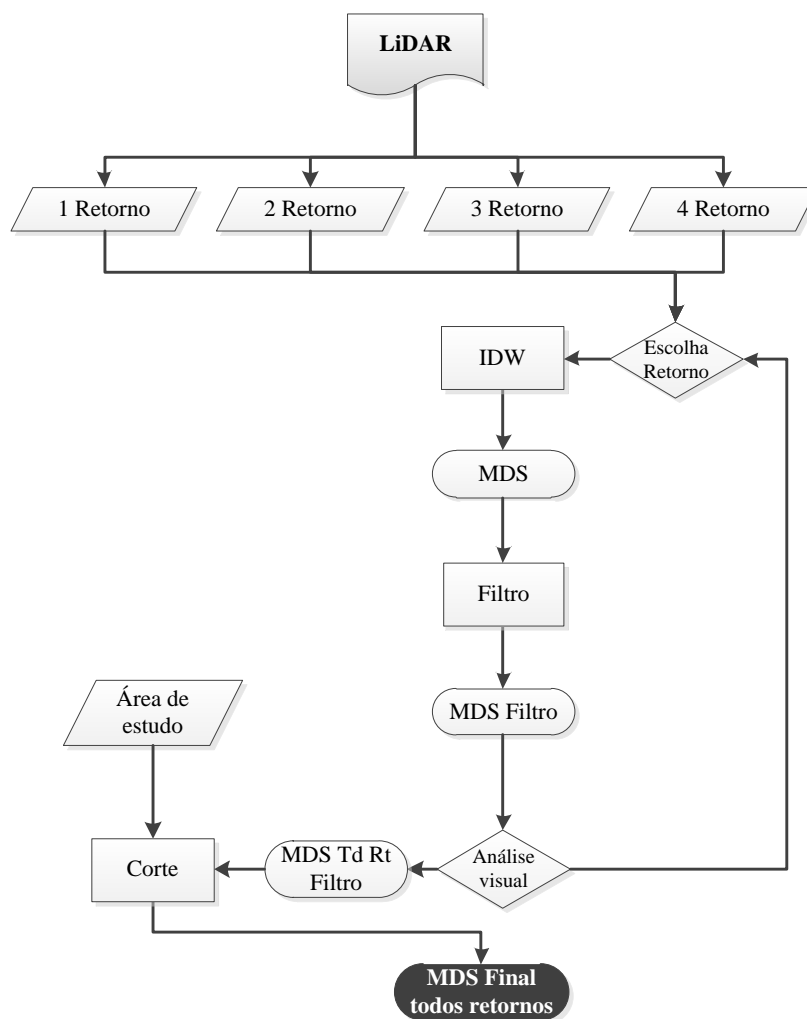
**Figura 41 -** Modelo Digital de Terreno

## 5.2. Modelo Digital de Superfície

Como já referido, existem quatro tipos de tecnologias para a aquisição de informação que permita a elaboração de modelos digitais de superfície. No estudo presente foram utilizados dados provenientes da tecnologia LiDAR.

O LiDAR é um dos meios mais eficazes para a aquisição de dados topográficos de elevada qualidade. Esta tecnologia fornece informação de alta densidade e precisão de aquisição de dados, disponibilizando coordenadas tridimensionais de dados em pontos de objectos presentes na superfície, possibilitando a sua modelação com elevado detalhe.

O fluxograma de procedimentos apresentado na Figura 42 representa os passos metodológicos que foram estabelecidos para a elaboração do MDS.



**Figura 42** - Fluxograma de procedimentos de Modelo Digital de Superfície

A primeira fase deste processo é a construção de um MDS a partir de um método de interpolação presente na extensão *spatial analyst* do ArcGIS 9.3 que permite a construção de novos pontos, a partir de um número limitado de pontos já existentes, convertendo-se assim os dados distribuídos irregularmente (dados LAS) numa estrutura matricial [Han et al., 2009].

Existem vários métodos de interpolação para a derivação de um MDS a partir de dados LiDAR, nomeadamente: i) *natural neighbor*; ii) *inverse distance weighted (IDW)*; iii) TIN; iv) *spline, ordinary kriging*; v) *universal kriging* [Brennan e Webster, 2006; Lloyd e Atkinson, 2002; Han et al., 2009; Carneiro et al., 2009; Guo et al., 2010].

O método de interpolação escolhido foi o *IDW* que, de acordo com Han et al. (2009), apresenta bons resultados quando o número de pontos é elevado e bem distribuído pela área em análise.

Como dados de entrada foram usados os 4 retornos dos ficheiros LAS (Tabela 6), com a finalidade de uma modelação de superfície o mais detalhada possível, modelando obstáculos usuais em áreas urbanas (árvores, chaminés, edifícios, etc.) que possam servir de impedimento de incidência solar no topo do edifício.

**Tabela 6 - Informação de dados LiDAR**

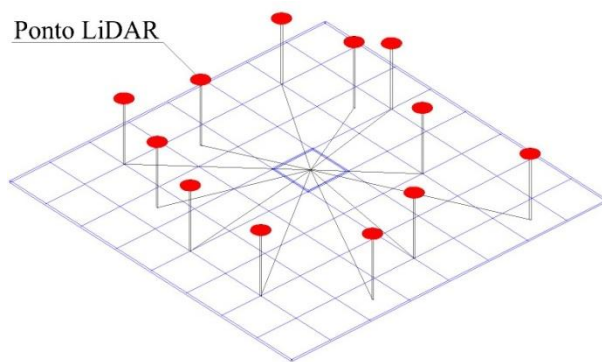
N.º de retorno	Fiada n.º22	Fiada n.º32	Total
1	561800	55647	617447
2	32622	3214	35836
3	814	82	896
4	13	3	16

Quantidade de pontos

O valores de expoente de distância, que permitem controlar a influência dos pontos de entrada nos valores interpolados, variam usualmente entre 0,5 e 3, quanto maior for o valor menor influência têm os pontos mais longínquos nas células interpoladas e mais detalhada é a superfície. O valor escolhido foi de 2 pois é aquele que melhor se adequa aos propósitos estabelecidos.

A quantidade de pontos usada para o cálculo do valor interpolado de cada célula na estrutura matricial, o raio de procura variável, foi de 12 pontos (Figura 43).





**Figura 43** - Representação de cálculo de raio variável

A resolução espacial tem um papel fulcral na concepção do MDS, sendo a sua escolha limitada pela área do terreno e a intensidade de pontos presentes. Hu (2003) calcula a resolução espacial  $S$  pela seguinte fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{A}{n}}$$

Em que:

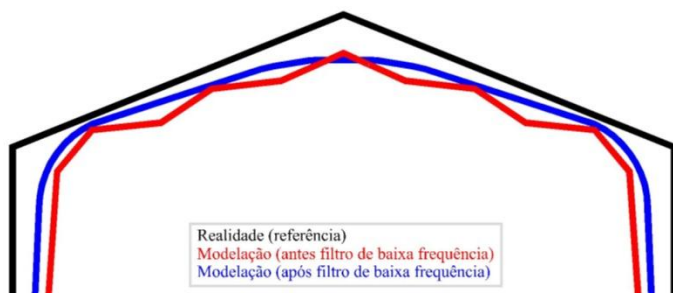
$A$  - área coberta

$n$  - número de pontos presentes no terreno

No caso em estudo, a área coberta apresenta o valor de  $359.400\text{m}^2$  com a presença de 654.195 pontos, a que corresponde  $S = 0,7412$ , e portanto uma resolução espacial de 1 m, com arredondamento à unidade. Foi este o valor escolhido para a resolução espacial do MDS.

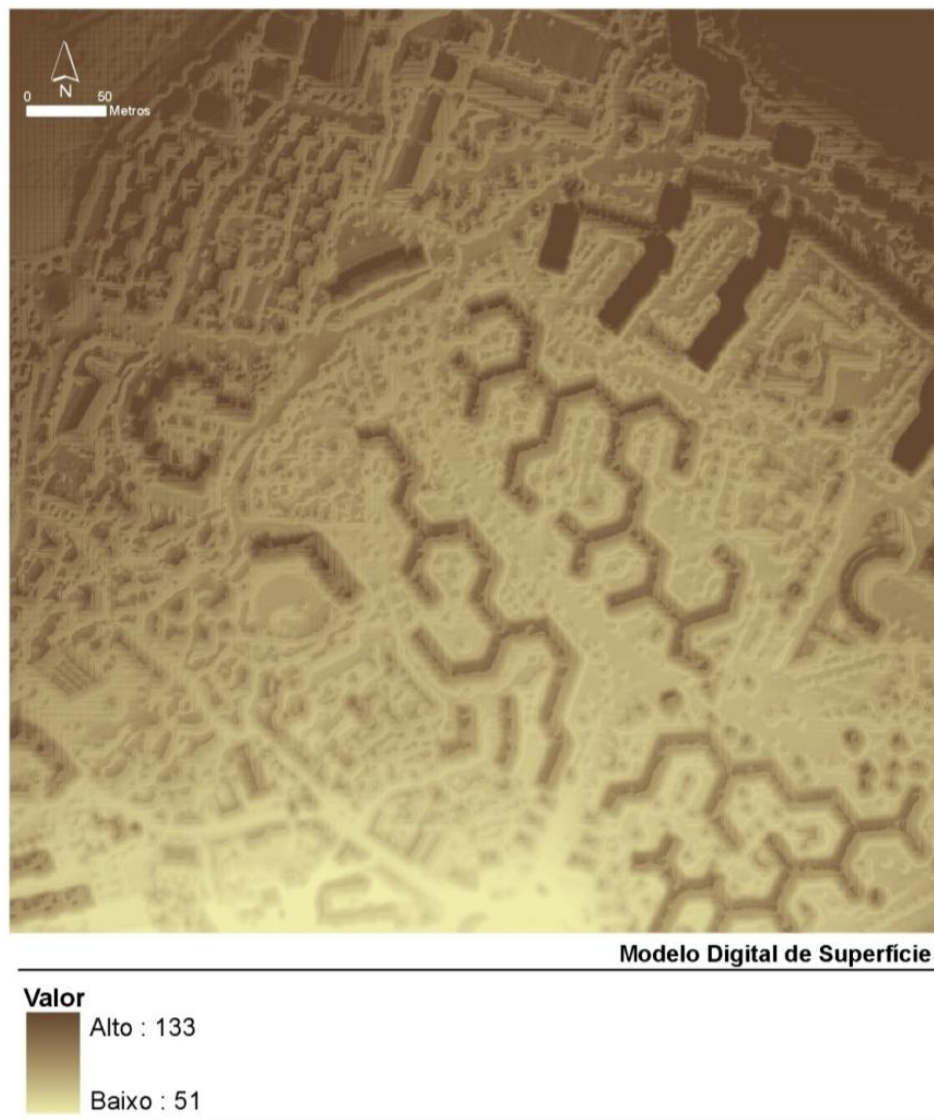
A etapa final deste processo foi a melhoria da qualidade do MDS extraído, com recurso a métodos de filtragem espacial. Esta operação tem em conta a informação presente em cada pixel calculando um novo valor, eliminando falsos dados ou reforçando outros. Existem dois tipos de filtro: i) alta frequência; ii) baixa frequência.

O filtro usado no MDS foi o de baixa frequência (Figura 44) com uma matriz de 3 por 3, ou seja, calcula a média de valor para cada matriz de 3 por 3 com base nos valores dos pixels vizinhos.



**Figura 44** - Esquema de filtro de baixa frequência

O objectivo da utilização deste tipo de filtro é de originar uma suavização ao resultado final do modelo, os valores altos e baixos presentes na célula da matriz adquiriram o valor médio, reduzindo assim os valores extremos dos dados (Figura 45).



**Figura 45** - Modelo Digital de Superfície



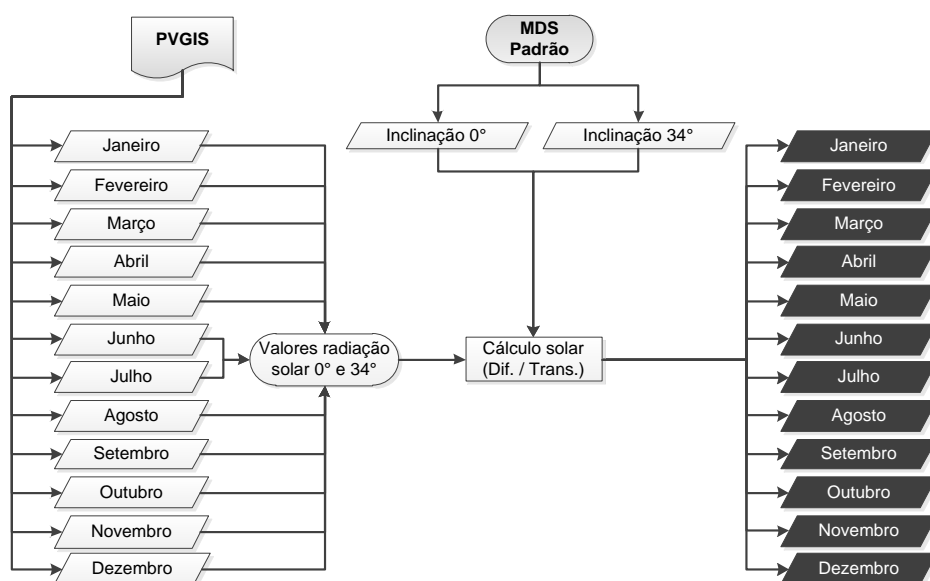
## 6. MODELO SOLAR

### 6.1. Calibração de modelo solar

A radiação solar é uma das variáveis mais importantes nos processos físicos e biológicos na superfície terrestre, e diversos modelos de estimar a irradiação solar têm sido desenvolvidos nas últimas décadas, como *SolarFlux* [Hetrick *et al.*, 1993; Dubayah e Rich 1995], *Solei-32* [Mészáros *et al.*, 2002]; *Solar Analyst* [Fu e Rich, 2000]; *SRAD* [Wilson e Gallant, 2000]; *r.sun* [Hofierka e Sári, 2002]. O modelo escolhido para estimar a irradiação solar na área de estudo, foi o *Solar Analyst* [Fu e Rich, 2000] inserido na extensão solar do *ArcGIS* 9.3. Este modelo espacial de radiação solar é categorizado em dois métodos: i) radiação solar em pontos; ii) radiação solar em área.

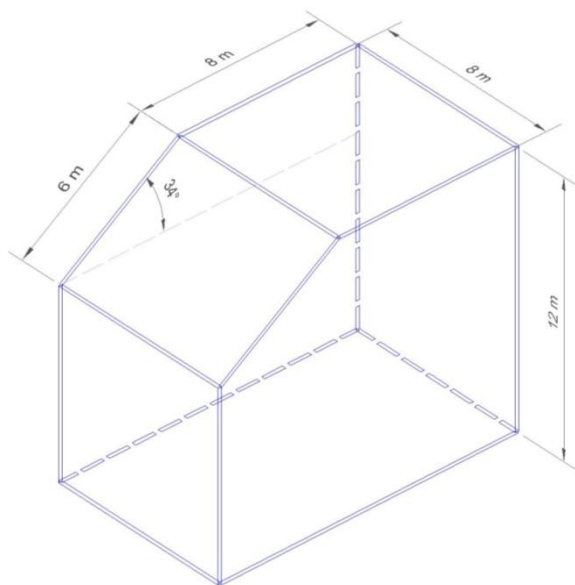
O método de radiação solar em pontos permite calcular a quantidade de irradiação solar num determinado local, isto é, permite calcular os valores de irradiação solar para um ficheiro de pontos tendo em conta a orientação da superfície e o céu visível. O método de radiação solar em área é usado para calcular a irradiação incidente numa determinada área, este tem em conta não só a orientação da superfície mas também as sombras originadas pelo MDS [Fu e Rich, 2000]. Para o objectivo proposto na dissertação utilizou-se o método de radiação solar em área, que permite criar outputs de radiação global, radiação directa, radiação difusa, e duração directa da radiação para um período específico de tempo.

O fluxograma de procedimentos descrito (Figura 46) representa todos os passos metodológicos de aferição do modelo solar do edifício padrão produzido para o efeito.



**Figura 46** - Fluxograma de procedimentos de aferição de modelo solar

A execução do cálculo necessita apenas de um modelo digital de elevação (MDS ou MDT) como variável de entrada e da parametrização de valores de calibração por comparação com o modelo *PVGIS* [Súri *et al.*, 2007]. Para tal foi criado um MDS de edifício padrão com inclinações de um plano horizontal e de  $34^{\circ 10}$  que serve de base para a indução de valores de aferição do modelo solar pretendido (Figura 47).



**Figura 47** – Edifício padrão de aferição de modelo solar

A latitude inserida no modelo refere-se à freguesia de Carnaxide, Concelho de Oeiras ( $38,43^{\circ}$  N). O método de radiação solar em área permite a inserção de um valor de latitude, ao não possibilitar a inserção de um valor de longitude original a que haja uma necessidade de parametrização do modelo utilizado para se obter uma calibração aceitável de irradiação solar da superfície.

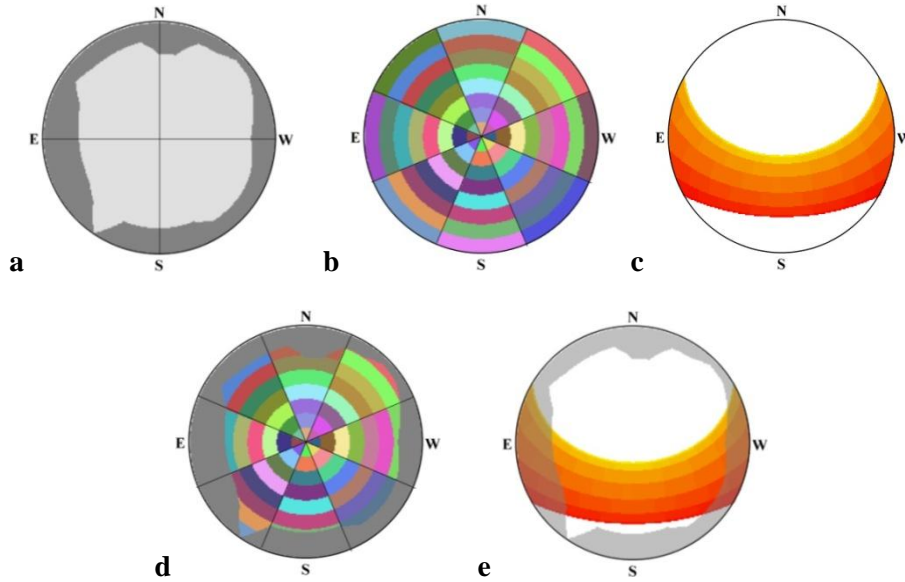
Outro parâmetro a ter em conta no modelo é o *sky size*, cujo valor predefinido é 200, e que representa a resolução do:

i) *viewshed* que é a distribuição angular da obstrução do céu que determina o máximo de obstruções existentes em cada direcção calculado para cada célula do modelo;

ii) *sunmap* que calcula a quantidade de radiação solar directa proveniente de cada direcção do céu, criando um mapa solar do hemisfério repartido em sectores que representam os dias e os meses ao longo do ano;

<sup>10</sup> Inclinação que maximiza a exposição à radiação na superfície em estudo

iii) *skymap* que tem em conta a insolação directa bem como a radiação solar difusa que é obtida em qualquer direcção do céu, a sua construção é feita a partir da divisão do céu em sectores (8x8) que são definidos pelas divisões do zénite e azimuth. [Fu e Rich, 2000] (Figura 48).



**Figura 48** - Resultado da parametrização solar: **a)** *Viewshed*; **b)** *Skymap*; **c)** *Sunmap*; **d)** Sobreposição de *viewshed* com *skymap*; **e)** Sobreposição de *viewshed* com *sunmap*

De acordo com Fu e Rich (2000) a radiação solar directa do modelo é determinada para todo o sector do *skymap* que não está obstruído pelo *viewshed*, o cálculo é feito a partir da:

- i) Fracção de abertura;
- ii) Posição solar;
- iii) Atenuação atmosférica;
- iv) Orientação da superfície

O cálculo do total de insolação directa é dado pelo somatório da insolação directa ( $Dir_{\theta,\alpha}$ ) de todos os sectores do *sunmap*.

$$Dir_{tot} = \sum Dir_{\theta,\alpha}$$

A insolação directa dos sectores do *sunmap* com o centróide em ângulo de zénite  $\theta$  e ângulo azimuth  $\alpha$  são calculados pela seguinte expressão;

$$Dir_{\theta,\alpha} = S_{Const} \cdot \tau^{m(\theta)} \cdot SunDur_{\theta,\alpha} \cdot SunGap_{\theta,\alpha} \cdot \cos(AngIn_{\theta,\alpha})$$

Em que:

$S_{\text{Const}}$  - Fluxo solar fora da atmosfera na distância média entre o sol e a terra, conhecido como a constante solar

$\tau$  - Transmissividade da atmosfera no caminho mais curto

$m(\theta)$  - Comprimento do caminho relativo óptico

$\text{SunDur}_{\theta,\alpha}$  - Duração do tempo representado pelo sector do céu

$\text{SunGap}_{\theta,\alpha}$  - Fracção de abertura para o sector do *sunmap*

$\text{AngIn}_{\theta,\alpha}$  - Ângulo de incidência entre o centróide do sector do céu e o eixo normal da superfície.

O modelo de difusão adoptado foi o de céu uniforme em que a entrada de radiação difusa é a mesma em todas as direcções do céu. Para cada sector do céu o cálculo da radiação solar difusa é dado pela seguinte expressão.

$$\text{Dif}_{\theta,\alpha} = R_{\text{glb}} \cdot P_{\text{dif}} \cdot \text{Dur} \cdot \text{SunGap}_{\theta,\alpha} \cdot \text{Weight}_{\theta,\alpha} \cdot \left( \text{AngIn}_{\theta,\alpha} \right)$$

Em que:

$R_{\text{glb}}$  - Radiação global normal

$P_{\text{dif}}$  - Proporção do fluxo de radiação normal que é difusa

$\text{Dur}$  - Intervalo de tempo para análise

$\text{SunGap}_{\theta,\alpha}$  - Fracção de abertura para cada sector do céu

$\text{Weight}_{\theta,\alpha}$  - Proporção de radiação difusa num dado sector do céu em relação a todos os sectores

$\text{AngIn}_{\theta,\alpha}$  - Ângulo de incidência entre o centróide do sector do céu e a superfície interceptada.

Para o modelo de céu uniforme o  $\text{Weight}_{\theta,\alpha}$  é calculado pela expressão:

$$\text{Weight}_{\theta,\alpha} = \left( \cos\theta_2 - \cos\theta_1 \right) / \text{Div}_{\text{azi}}$$

Em que:

$\theta_1$  e  $\theta_2$  são a delimitação dos ângulos do zénite dos sectores do céu

$\text{Div}_{\text{azi}}$  - É o número de divisões do azimuth no *skymap*.

O cálculo da radiação solar global é dado pelo somatório da radiação directa e difusa para todos os sectores, este processo é repetido para todas as localizações da área de experimentação produzindo um mapa de insolação.

$$\text{Global}_{\text{tot}} = \text{Dir}_{\text{tot}} + \text{Dif}_{\text{tot}}$$

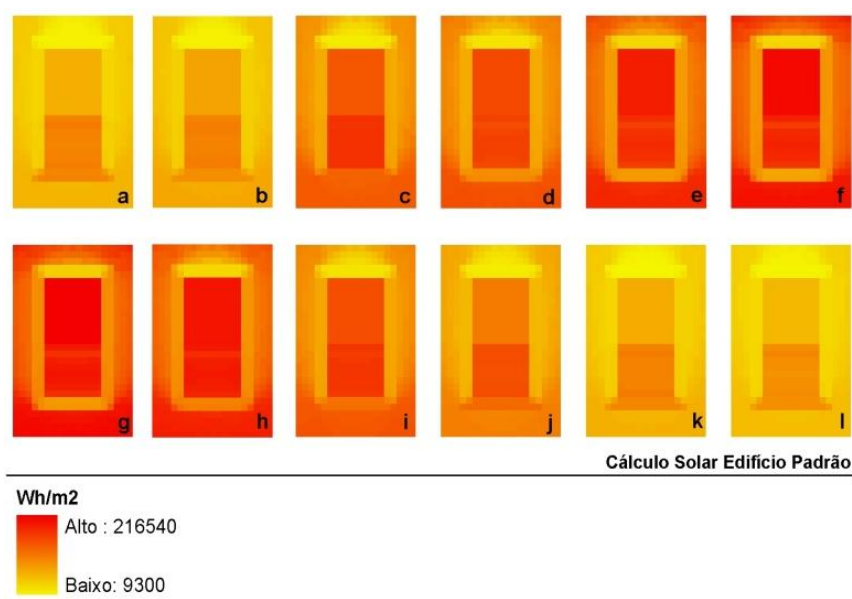
Os valores solares mensais da energia por unidade de área ( $\text{Wh/m}^2/\text{mês}$ ) retirados do *PVGIS* para as inclinações de  $0^\circ$  e  $34^\circ$  para a latitude de  $38,43^\circ$  N para os meses do ano passaram a servir de referência para aferição do modelo solar de edifício padrão. Os parâmetros da proporção da radiação difusa e transmissividade da extensão radiação solar em área permitiu a calibração para os diferentes meses (Tabela 7).

**Tabela 7** - Parâmetros de difusão e transmissividade para calibração de modelo solar

Meses	Difusão	Transmissividade	<i>PVGIS</i>		<i>ArcGIS</i>	
			$(\text{Wh/m}^2/\text{mês})$		$(\text{Wh/m}^2/\text{mês})$	
			Hh	H(34)	Hh	H(34)
Janeiro	0,25	0,65	66650	108500	67117	102324
Fevereiro	0,25	0,60	76440	106400	76207	104894
Março	0,20	0,65	135470	168950	142998	172404
Abril	0,25	0,55	152700	162300	153823	159437
Maio	0,25	0,55	190960	184140	190950	179005
Junho	0,20	0,60	207300	189900	207532	187467
Julho	0,22	0,60	219170	205220	218583	194471
Agosto	0,25	0,60	200570	206460	196564	193452
Setembro	0,25	0,60	152700	180600	149070	168679
Outubro	0,25	0,65	111600	152830	112176	146508
Novembro	0,20	0,65	68700	105600	68710	103492
Dezembro	0,25	0,65	59210	99510	59518	92134

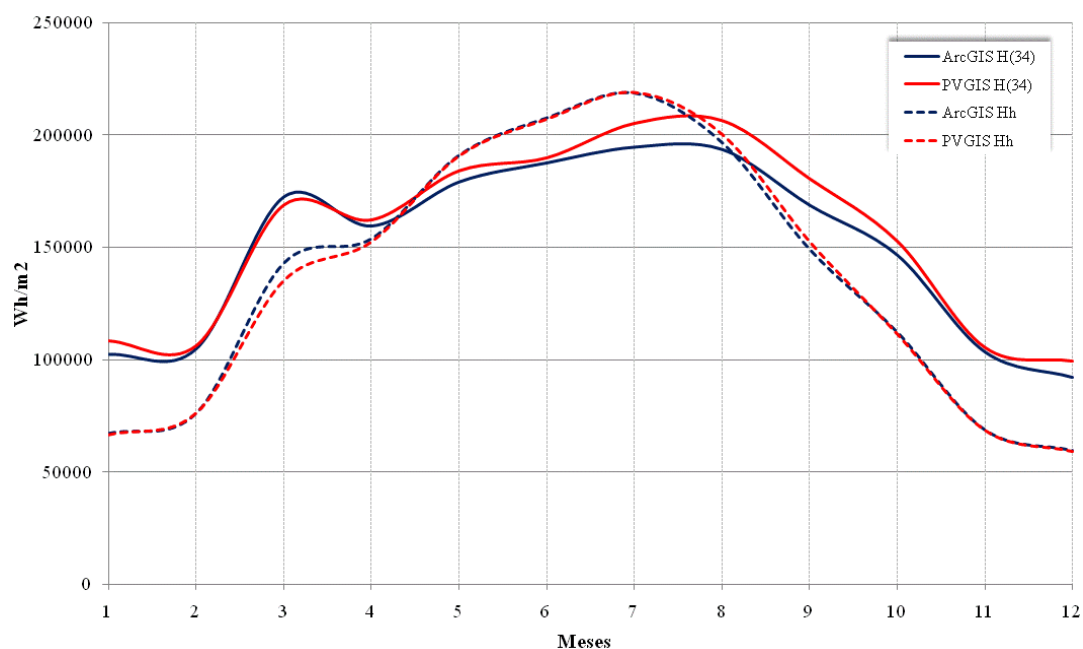
A variável de proporção da radiação difusa representa a proporção de fluxo de radiação normal que é difusa; o valor de proporção varia entre 0 e 1 em que o valor de 0,3 representa condições atmosféricas de céu limpo.

A transmissividade, que representa a fracção de radiação que passa através da atmosfera, varia também entre 0 e 1, sendo o valor que representa condições atmosféricas de céu limpo de 0,5.



**Figura 49** - Cálculo solar de modelo de edifício padrão: **a)** Janeiro; **b)** Fevereiro; **c)** Março; **d)** Abril; **e)** Maio; **f)** Junho; **g)** Julho; **h)** Agosto; **i)** Setembro; **j)** Outubro; **k)** Novembro; **l)** Dezembro

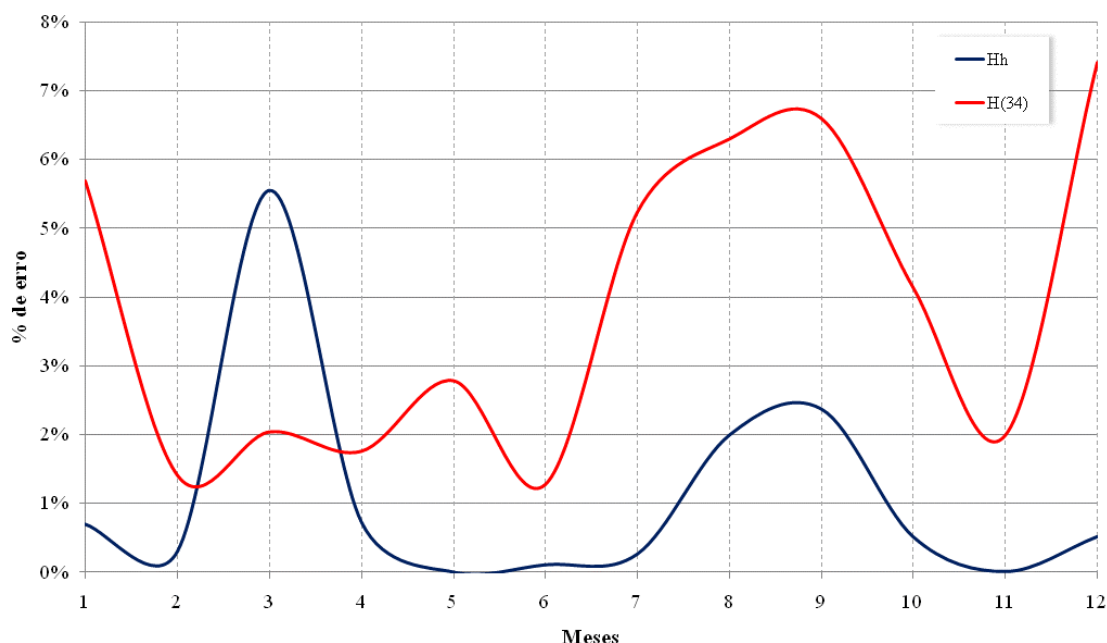
Em análise aos resultados obtidos para o modelo de aferição padrão (Figura 49) constata-se que a média de erro global do modelo produzido pela extensão da radiação solar em área do *ArcGIS* em comparação com os valores provenientes do *PVGIS* é de 1,8%. No plano horizontal o erro médio é de 0,11% e no plano de 34° é de 3,5% (Figura 50).



**Figura 50** - Comparação solar entre *ArcGIS* e *PVGIS* (Hh - Plano com inclinação de 0°; H(34) - Plano com inclinação de 34°)

Numa análise mais detalhada aos dados referentes plano horizontal constata-se que os meses que apresentam maior diferença são o de Março (5,5%), Setembro (2,3%) e Agosto (1,9%).

No plano de 34° os meses que apresentam maior diferença são o de Dezembro (7,4%), Setembro (6,6%), Agosto (6,3%), Janeiro (5,6%), Julho (5,2) e Outubro (4,14%) (Figura 51).



**Figura 51** - Erro mensal (Hh - Plano com inclinação de 0°; H(34) - Plano com inclinação de 34°)

## 6.2. Quantificação da energia

A quantificação da energia está dividida em dois métodos: i) estimar a irradiação solar incidente no terreno; ii) estimar a irradiação solar incidente na superfície.

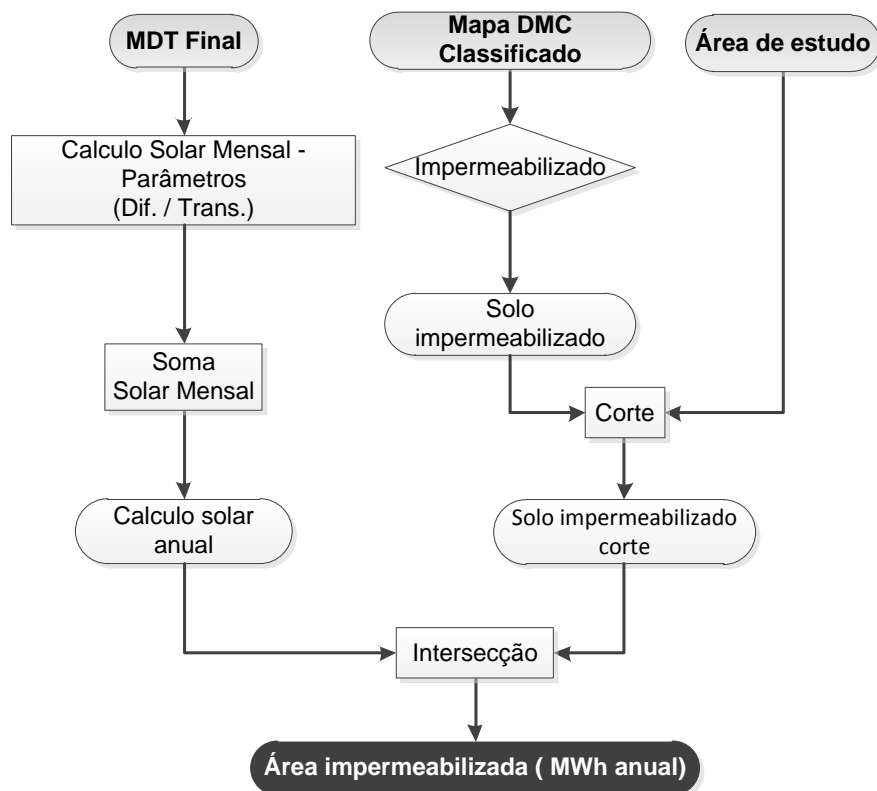
O propósito do primeiro método é conseguir estimar a irradiação solar incidente na mancha urbana a partir de um MDT, e trata-se de um método generalizado neste tipo de aplicações [Súri *et al.*, 2007; Ruiz-Arias *et al.*, 2009]. O objectivo do segundo método é permitir quantificar a irradiação solar no edifício utilizando um MDS [Kassner *et al.*, 2008; Carneiro *et al.*, 2008] de forma a obter um resultado mais refinado que o anterior, uma vez que inclui o efeito das sombras dos edifícios vizinhos.

A utilização de modelos de elevação digital diferentes para uma mesma área vai possibilitar a comparação de resultados.

### 6.2.1. Terreno

O cálculo da irradiação solar incidente foi executado usando a extensão *Solar Analyst* com os valores descritos na secção 6.1 Calibração de modelo solar.

O fluxograma de procedimentos Figura 52 descreve os passos metodológicos que foram estabelecidos para alcançar o objectivo proposto.

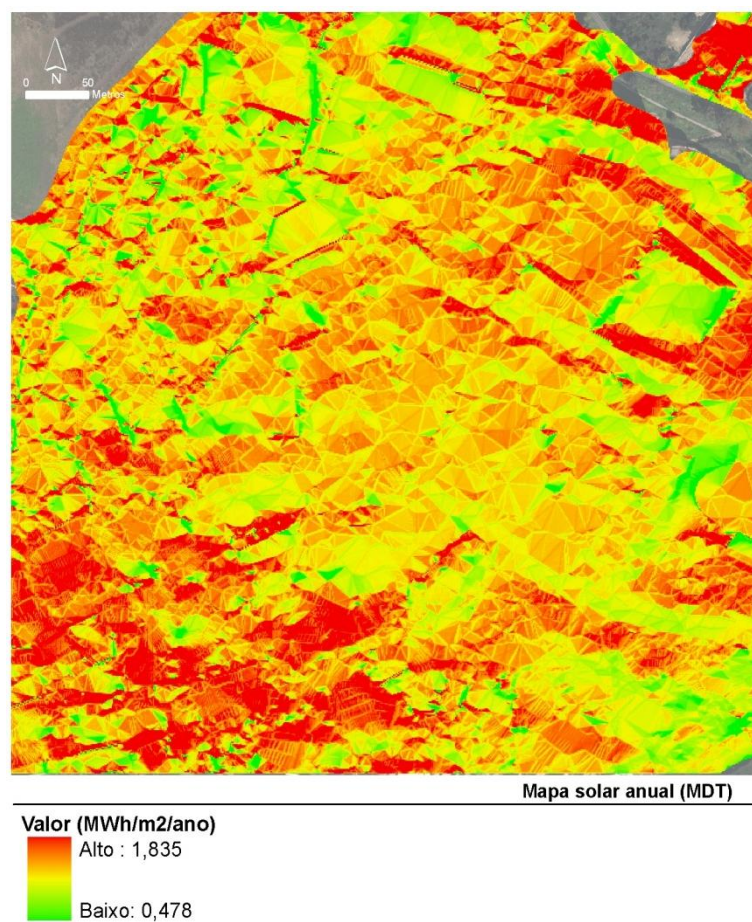


**Figura 52** - Fluxograma de procedimentos de quantificação de energia no terreno

Para estimar a energia solar incidente na mancha urbana utilizou-se o método de radiação solar em área, utilizando como modelo digital de elevação o MDT e os parâmetros aferidos para a latitude de 38,43° N.

A execução do cálculo permitiu quantificar a irradiação solar para os diferentes meses do ano. A partir da soma da grelha matricial de cada mês obteve-se a irradiação global anual medida em MWh/m<sup>2</sup>/ano (Figura 53).





**Figura 53** - Mapa solar anual calculado a partir do MDT

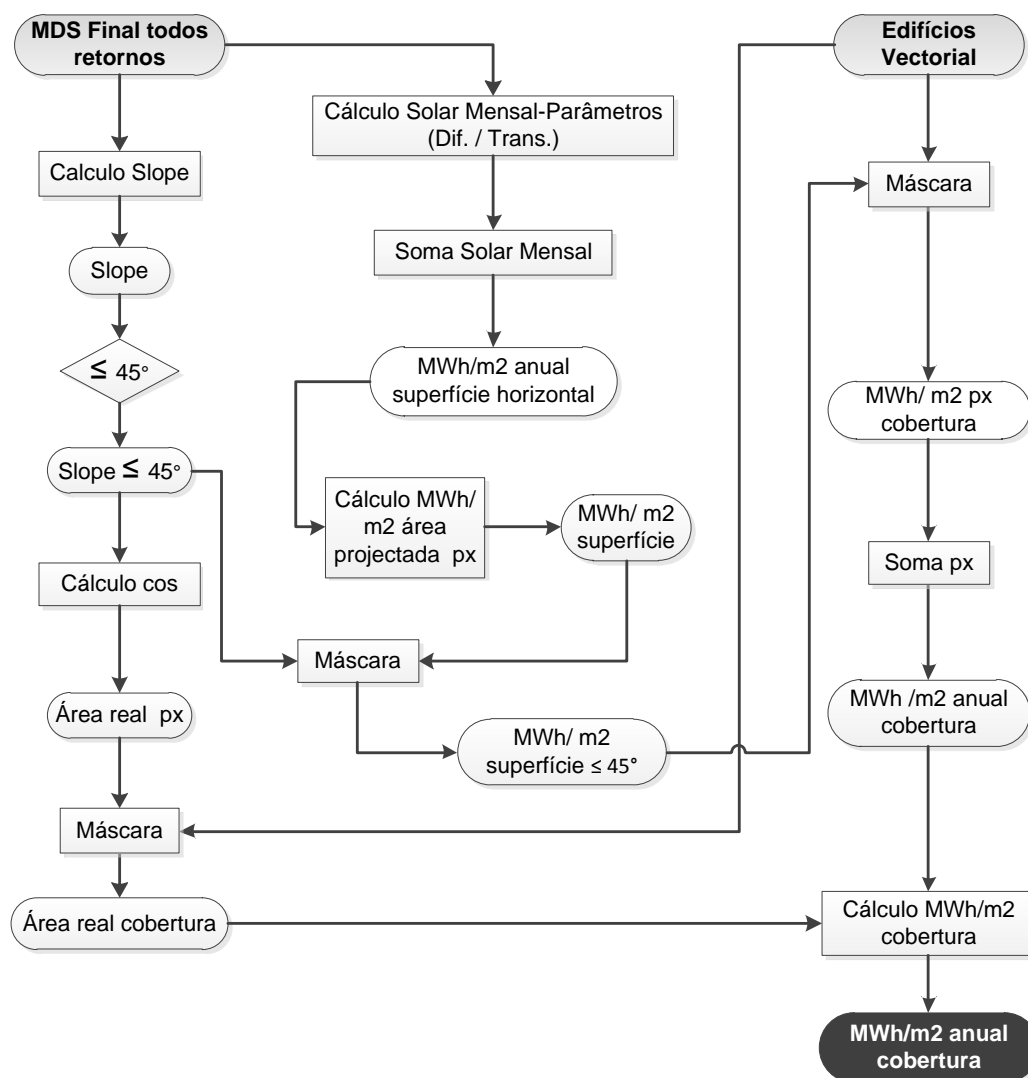
O cálculo zonal feito a partir do cruzamento da informação da mancha urbana com a irradiação global anual permitiu quantificar a irradiação solar na área em análise.

A irradiação solar anual na mancha urbana é 559,42 GWh que corresponde a um valor médio de 1,66 MWh/m<sup>2</sup>/ano, apresentando um valor máximo de 1,84MWh/m<sup>2</sup> e mínimo de 0,48MWh/m<sup>2</sup>.

O resultado obtido é coerente com o da média anual da irradiação solar global horizontal estimada para Portugal que varia entre 1,3MWh/m<sup>2</sup> em Vila Real e 1,8MWh/m<sup>2</sup> em Faro [GREENPRO, 2004].

### 6.2.2. Superfície

A metodologia do cálculo da quantificação da irradiação solar incidente na superfície é semelhante à utilizada na do terreno, diferindo apenas o modelo digital de elevação de entrada, como se pode ver no fluxograma (Figura 54).

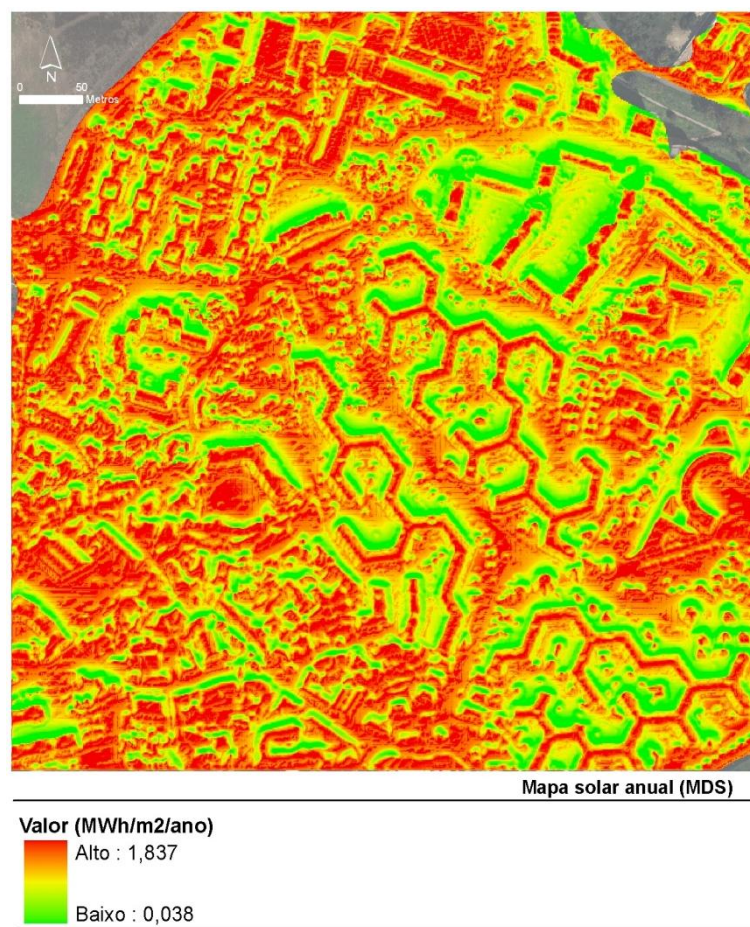


**Figura 54** - Fluxograma de procedimentos de quantificação de energia na superfície

A quantificação da irradiação solar global foi obtida a partir do somatório das grelhas matriciais dos meses do ano da superfície em estudo, originando um mapa da irradiação solar incidente anual (Figura 55). Utilizando este método, a irradiação solar incidente anual é 431,98 GWh/ano<sup>11</sup>, correspondendo a um valor médio de 1,28MWh/m<sup>2</sup>/ano, 23% inferior do que o estimado a partir do MDT.

<sup>11</sup> Este valor não tem em consideração a correcção da área da cobertura devido à inclinação (pag.65)

Os valores máximos são idênticos nos dois modelos com o valor de 1,84 MWh/m<sup>2</sup>/ano, o que significa que em ambos os modelos digitais de elevação existem pontos com a inclinação e orientação óptimas para o local. No que se refere aos valores mínimos existe uma elevada discrepância entre os dois: o modelo calculado com base no MDS apresenta um mínimo de 0,04MWh/m<sup>2</sup>/ano, bastante inferior ao do MDT, com 0,48 MWh/m<sup>2</sup>/ano. A explicação para esta diferença deve-se ao MDS apresentar informação da elevação de objectos presentes na superfície como edifícios, vegetação e outro tipo de estruturas que podem originar obstáculos para a incidência da radiação solar.



**Figura 55** - Mapa solar anual calculado a partir do MDS

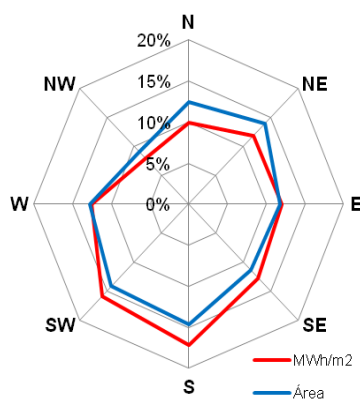
Na fase seguinte do procedimento calculou-se, a partir do MDS, o mapa de inclinações com uma resolução espacial de 1 m, determinando para cada célula a taxa máxima da variação do valor desta para as células adjacentes. O processo é executado a partir do valor da variação máxima em elevação ao longo da distância em cada célula e das células contíguas, originado um valor de inclinação para cada célula [ESRI, 2009].

Este procedimento serviu para identificar todas as células presentes na estrutura matricial do mapa com inclinações inferiores a 45° de inclinação, utilizando como pressuposto que este é o valor máximo de inclinação de uma água na cobertura.

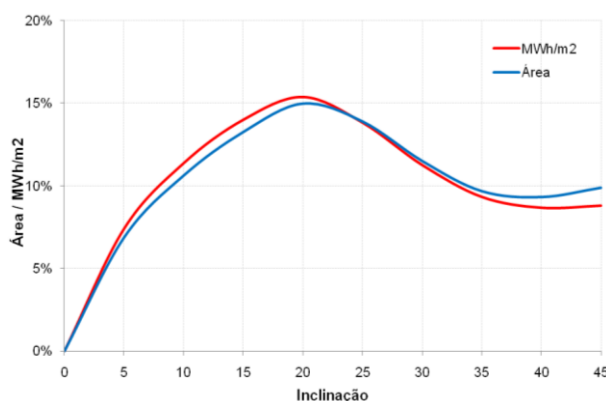
O cruzamento entre os diferentes dados (mapa de inclinações com inclinações inferiores a 45° e limite dos edifícios) permitiu localizar apenas as áreas dentro das coberturas dos edifícios que estarão em estudo.

Numa análise detalhada aos resultados obtidos no cálculo de irradiação solar anual na cobertura dos edifícios constata-se que 40% da área de cobertura dos edifícios apresenta uma orientação favorável (entre SW e SE) à exposição solar, recebendo 46 % da irradiação anual (Figura 56).

No estudo do comportamento da irradiação solar anual nas diferentes inclinações das coberturas dos edifícios constata-se que é nas inclinações de 20° que apresenta maior incidência solar e área de edifício (Figura 57).



**Figura 56** - Orientação total da distribuição da irradiação e área de cobertura



**Figura 57** - Distribuição percentual da irradiação e área da cobertura a partir da inclinação

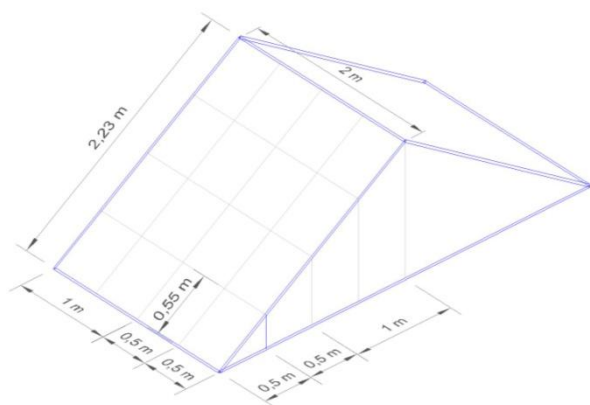
Para se proceder à quantificação anual de irradiação por edifício necessitou-se de corrigir a área de cobertura dos edifícios considerando a sua inclinação (uma célula com inclinação variável tem uma área superior em comparação com a mesma célula com inclinação de 0° (Figura 58)) usando a seguinte expressão;

$$AR = \frac{1}{\cos i}$$

Em que:

1 – Valor da resolução espacial da célula sem inclinação

cosi – Cosseno da inclinação de cada célula



**Figura 58** - Esquema de cálculo de área a partir da inclinação

O somatório dos valores das células em cada edifício define o valor corrigido de área de cada cobertura. O resultado obtido na quantificação total da área das diferentes coberturas foi de 65.922 m<sup>2</sup> com uma média por edifício de 122m<sup>2</sup>, valor superior em 15% se apenas tivermos em conta a área de implementação (sem contabilizar as diferentes inclinações (55.822m<sup>2</sup>)).

Numa análise às diferentes tipologias de edifícios existentes na área em estudo (Tabela 8), constata-se que são os edifícios com a tipologia de serviços que apresentam maior diferença em área com um incremento em 37%, os edifícios residências, separados em duas tipologias, apresentam uma diferença para valores superiores de 11% para plurifamiliares e 16% para unifamiliares os restantes edifícios identificados como anexos são aqueles que tem uma menor diferença em área com um valor de 10%.

**Tabela 8** - Resultados de área das coberturas com e sem rectificação

Tipologia	Área	
	Sem rectificação	Com rectificação
Plurifamiliar	30150	33504
Unifamiliar	7917	9207
Anexo	4007	4436
Serviços	13748	18775

Unidade em m<sup>2</sup>

A irradiação solar anual incidente nas coberturas dos edifícios pode agora ser determinada usando a área real da cobertura, dividindo o valor da irradiação presente em cada célula pelo co-seno da inclinação:

$$IS = \frac{C}{\cos i}$$

O somatório obtido dos valores das células em cada edifício originou o valor corrigido da irradiação solar anual.

O cálculo final deste procedimento metodológico tem como propósito estimar irradiação solar anual do edifício que tem como base a irradiação solar anual em cada cobertura dos edifícios a partir da seguinte expressão:

$$ISE = \frac{\sum_{i=1}^n IS}{\sum_{i=1}^n AR}$$

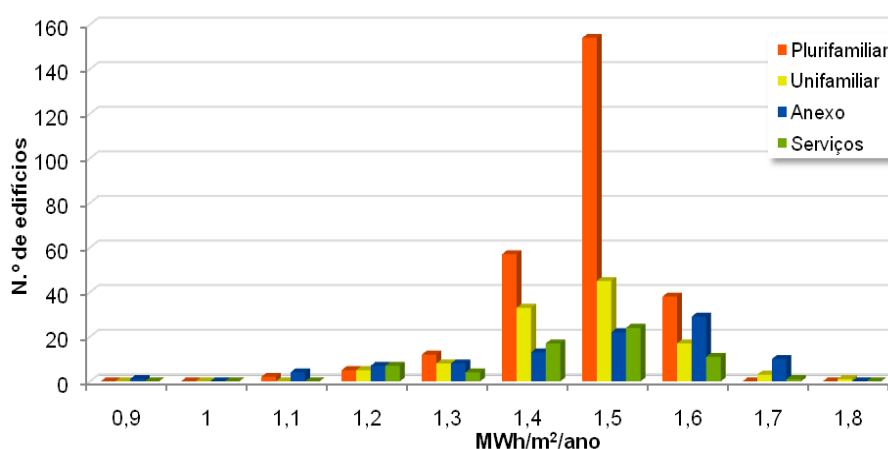
Em que:

IS – Irradiação solar anual da cobertura

AR – Área corrigida da cobertura

n – número de células presentes na cobertura

Na análise dos resultados obtidos constata-se que num total de 538 edifícios, 74% estão inseridos na classe definida pelo intervalo de 1,2 a 1,5 MWh/m<sup>2</sup>/ano, a classe 1,5 a 1,8 MWh/m<sup>2</sup>/ano contem 20% dos edifícios e os restantes 6% estão inseridos na classe 0,9 a 1,2 MWh/m<sup>2</sup>/ano (Figura 59).



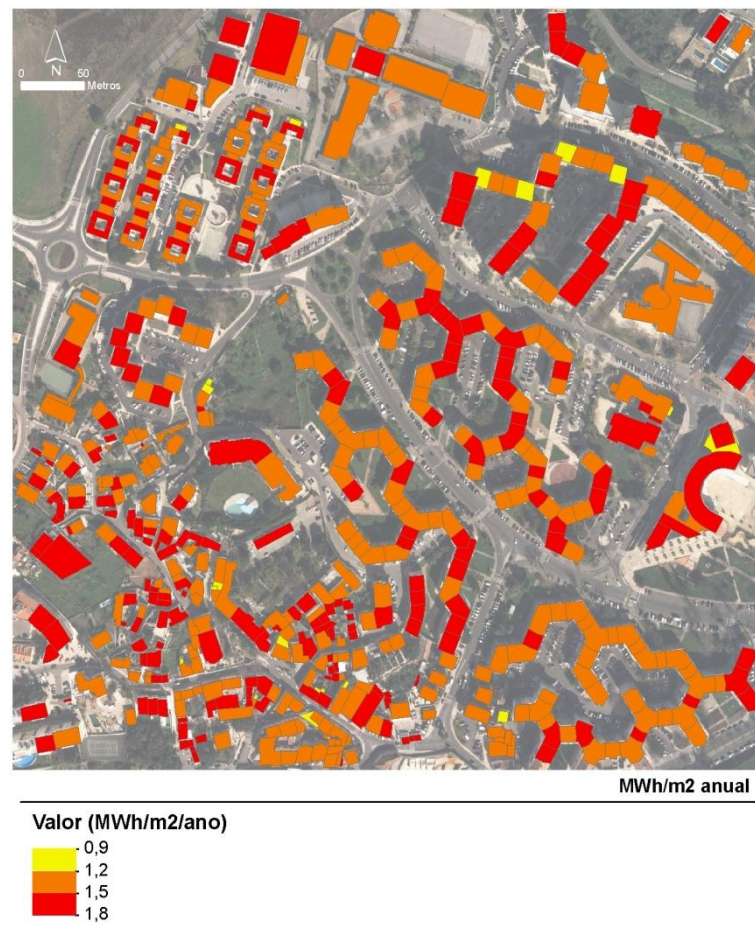
**Figura 59** - Quantificação dos edifícios de diferentes tipologias em função da irradiação solar anual a que estão expostos

Numa análise mais detalhada, a irradiação solar anual presente em cada edifício é variável consoante a área, orientação e sombreamento, obtendo-se valores totais anuais que oscilam entre 11MWh/ano (Anexo com área de 6m<sup>2</sup>) e de 2.466 MWh/ano (edifício escolar com área de 1.619m<sup>2</sup>), traduzindo-se num valor total de 97,32 GWh/ano com uma média por edifício de 180MWh/ano.

Em termos médios de valores de irradiação solar anual (Figura 60), as coberturas dos edifícios em análise obtêm um valor médio de 1,47 MWh/m<sup>2</sup>/ano, valor superior em



13% em comparação com o valor médio obtido a partir do cálculo da irradiação solar na mancha urbana com base no MDS sem correcção de inclinação ( $1,28\text{MWh/m}^2/\text{ano}$ ), mas em contrapartida este apresenta um valor inferior em 12% em comparação com o calculo da energia solar anual a partir do MDT ( $1,66\text{MWh/m}^2/\text{ano}$ ) uma vez que neste caso não são considerados sombreamentos.



**Figura 60 -** Mapa solar anual ao edifício

## **7. REDISTRIBUIÇÃO DE POPULAÇÃO RESIDENTE**

A informação cartográfica pormenorizada da distribuição da população numa determinada superfície é essencial e constitui um apoio valioso às tomadas de decisão nas mais variadas áreas.

O Instituto Nacional de Estatística (INE), desde os censos de 1981, que tem vindo a aperfeiçoar a base cartográfica censitária. Com o aparecimento em 2001 da Base Geográfica de Referenciação da Informação (BGRI) esta torna-se uma ferramenta importante no auxílio do planeamento e recolha de dados. A BGRI é uma infra-estrutura de referenciação geográfica de informação em suporte digital, esta decompõe o território em pequenas unidades territoriais estatísticas feitas a partir da divisão da área das freguesias.

Existem 3 tipos de unidades territoriais [INE, 2001], estas representam a superfície de maneiras distintas: i) Secção estatística; ii) Subsecção Estatística; iii) Lugar.

- i) Secção estatística – Área contínua da freguesia, com cerca de 300 edifícios, destinados à habitação.
- ii) Subsecção estatística – A mais pequena superfície homogénea de construção ou não, existente dentro da secção estatística.
- iii) Lugar – 10 ou mais edifícios pertencentes a um aglomerado populacional destinados à habitação de indivíduos e com uma designação própria.

A informação proveniente das unidades territoriais pode ser considerada genérica em determinadas escalas de trabalho, no que se refere à distribuição da população existente no território, pois constituem uma simplificação da realidade.

O objectivo da metodologia proposta é tentar obter um maior rigor na distribuição da população residente na área de estudo, através de duas etapas: i) estimar a população correspondente à mancha urbana<sup>12</sup>, a partir de uma metodologia tradicional de interpolação com base na área, que está exposta a uma determinada irradiação solar;

---

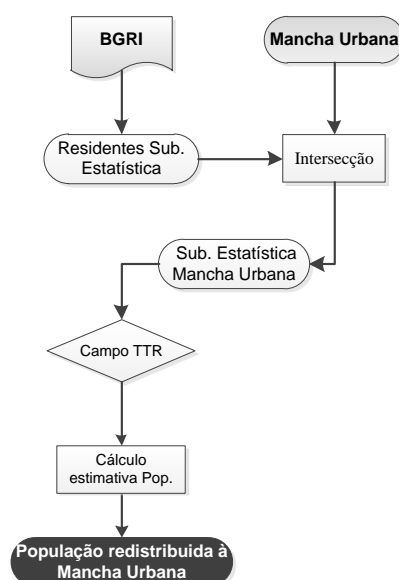
<sup>12</sup> Extracção de informação da mancha urbana (pag.35)



ii) estimar a população residente aos edifícios que podem usufruir de sistemas solares fotovoltaicos e respectiva produção<sup>13</sup>.

### 7.1. Redistribuição de população residente à mancha urbana

O fluxograma de procedimentos apresentado (Figura 61) representa os passos metodológicos que foram estabelecidos para estimar a população presente na mancha urbana.



**Figura 61** - Fluxograma de procedimentos de redistribuição da população à mancha urbana

Os dados provenientes da BGRI e censos 2001 permitiram estimar a população residente afecta à mancha urbana extraída. Verifica-se que a mancha urbana em estudo integra 32 subsecções estatísticas com um total de população residente de 6.698 habitantes.

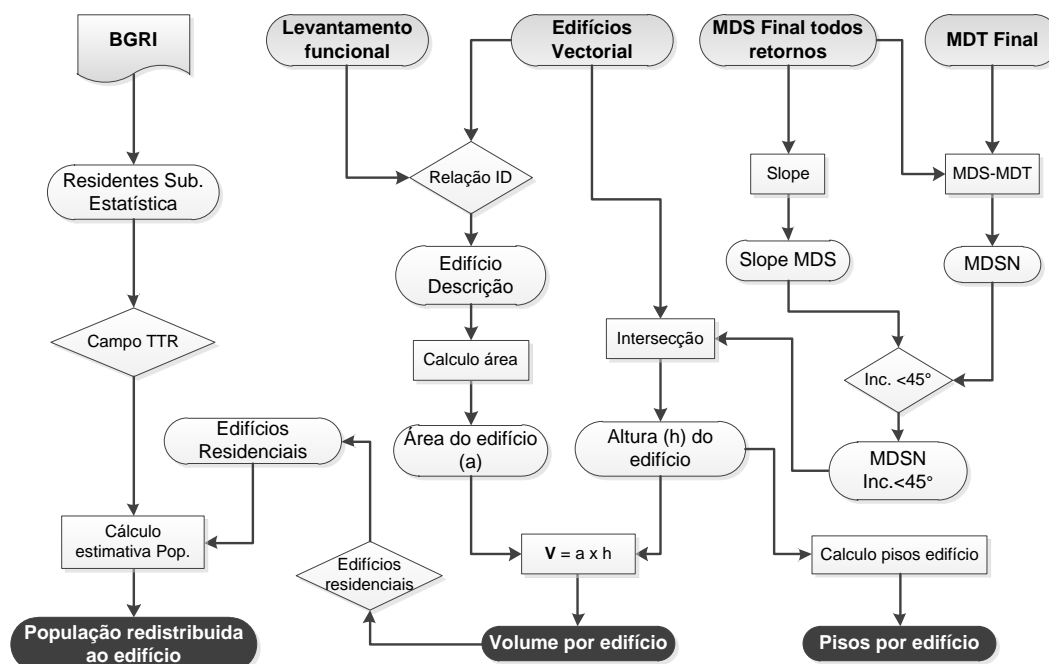
A quantificação da população residente na mancha urbana extraída inclui duas etapas: i) quantificar os valores da população residente em todas as subsecções estatísticas que estavam integralmente inseridas na mancha urbana; ii) calcular com base numa proporção linear, a população residente nas subsecções estatísticas que estão parcialmente inseridas na mancha urbana, i.e., a partir dos três valores conhecidos (área total, área parcial e população total da subsecção estatística) calculou-se o valor da população residente parcial.

O valor obtido de população residente inserida na mancha urbana é de 5.107 indivíduos, menos 24% do valor total da população residente inserida nas subsecções estatísticas que intersectam a superfície em estudo.

<sup>13</sup> Determinação de áreas para potencial localização de PV (pag.80)

## 7.2. Redistribuição de população residente ao edifício

O objectivo proposto com este método é conseguir estimar a população ao nível do edifício, obtendo-se uma maior desagregação da distribuição da população no território. Esta informação irá permitir quantificar a população que poderá usufruir de sistemas solares fotovoltaicos e o ganho que estes trazem para o território em termos energéticos e ambientais. O fluxograma descrito (Figura 62) representa os passos metodológicos que foram estabelecidos para alcançar esse objectivo.



**Figura 62** - Fluxograma de procedimentos de redistribuição da população ao edifício

Diversos modelos de distribuição da população no território têm sido desenvolvidos nas últimas décadas, Freire e Aubrecht (2010) produziram mapas matriciais da distribuição da população nocturna e diurna com alta resolução espacial a partir de mapeamento dasimétrico inteligente, que combina informação censitária com dados de uso e ocupação do solo, para mapear a distribuição espaço-temporal de exposição humana ao perigo de terramoto na Área Metropolitana de Lisboa.

Aubrecht *et al.* (2009) integraram dados de detecção remota (dados LiDAR e imagem de satélite de alta resolução espacial) e informações socioeconómicas para elaborar um modelo funcional e detalhado do uso do solo urbano, permitindo identificar edifícios de diferentes tipologias e distribuindo a população ao edifício com base em parâmetros específicos consoante o tipo de edifício. A abordagem adoptada de estimar a população ao edifício é baseada em Aubrecht *et al.* (2009) com modificações e adaptações à área de estudo e informação utilizada.

### 7.2.1. Modelo Digital de Superfície Normalizado

Para estimar a população ao edifício teve-se de proceder à elaboração de um modelo digital de superfície normalizado (MDSn). Este é um elemento importante para a detecção de construção, mas também para a modelação geométrica de edifícios com um nível elevado de detalhe [Aubrecht *et al.*, 2009].

Com o propósito de evitar o efeito da topografia, o cálculo do MDSn (Figura 63) é feito subtraindo o MDT<sup>14</sup> a partir do MDS<sup>15</sup>, obtendo-se altura para objectos acima ou abaixo do terreno [Centeno *et al.*, 2004]. Para a obtenção da altura de cada edifício utilizou-se um cálculo zonal, feito a partir do cruzamento da informação vectorial dos edifícios<sup>16</sup> com o MDSn, retirando-se o valor médio dos pixels contidos no polígono de cada edifício.



**Figura 63** - Modelo Digital de Superfície Normalizado

<sup>14</sup> Modelo Digital de Terreno (pag.47)

<sup>15</sup> Modelo Digital de Superfície (pag.50)

<sup>16</sup> Levantamento funcional (pag.44)

### 7.2.1.1. Avaliação de qualidade

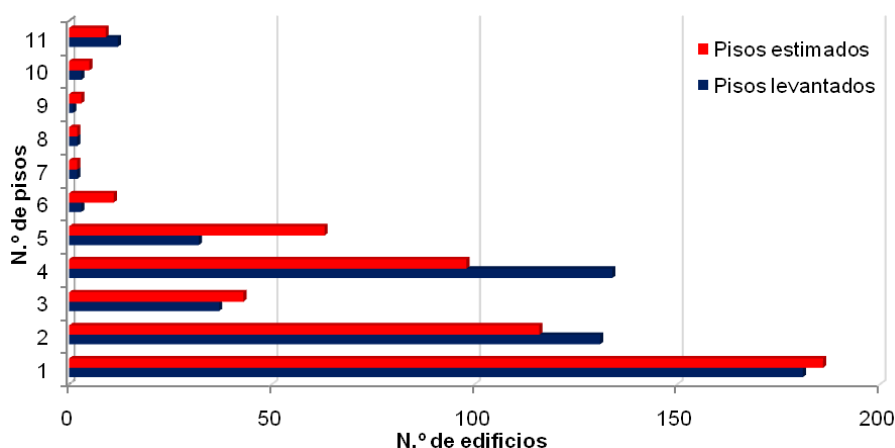
Para aferir a qualidade do MDSn extraído, é necessário avaliar os níveis de conformidade com informação de referência. Para tal, considerou-se a informação do número de pisos acima do chão retirada dos dados levantamento de campo<sup>17</sup> efectuado, como a informação de referência.

Para se proceder a uma comparação directa entre o número de pisos levantados com a altura do edificado retirado do MDSn é necessário estipular uma altura média/típica de piso por tipologia de edifício.

O Decreto-Lei n.º 38 382 de 7 de Agosto de 1951 estipula que a altura mínima entre pisos é de 2,70 m em edifícios destinados à habitação e de 3 m no seu piso térreo quando destinados a estabelecimentos comerciais ou industriais.

De acordo com os valores estipulados no DL n.º 38 382, considerou-se que o edificado unifamiliar e plurifamiliar têm uma altura por piso de 2,70 m, em edifícios predominantemente residenciais que foram identificados no levantamento funcional como tendo algum tipo de estabelecimento comercial no rés-do-chão, foi estipulado que esse piso tem uma altura mínima de 3 m. Os restantes edifícios presentes de serviços e anexos têm uma altura por piso de 3 e 2,70 m, respectivamente.

Numa análise aos resultados do método de validação, constata-se que existem pequenas discrepâncias na distribuição do número de pisos acima do chão entre edifícios estimado a partir do MDSn com a referência (Figura 64).



**Figura 64** - Comparação entre o número de pisos estimados e levantados

<sup>17</sup> Levantamento funcional (pag.44)

As principais trocas ocorrem entre edifícios com 4 e 5 pisos. Este resultado pode ser explicado pelo facto da altura do piso ser variável de edifício para edifício e pela presença de sótão no último piso que não foi considerado como piso no levantamento de campo efectuado.

Outro factor presenciado, que condiciona o resultado final obtido, é o de existirem elementos na cobertura que influenciam o valor médio de altura do edifício, originando a estimação incorrecta de 1 piso adicional em alguns edifícios.

No que refere à análise da matriz de contingências referente ao número de pisos extraídos por edifício (Tabela 9), esta apresenta uma classificação bastante satisfatória com uma exactidão global de 82% e índice kappa de 0,79 que representa uma elevada concordância.

**Tabela 9** - Matriz de contingência de pisos estimados ao edifício

Classificação	Referência											
N.º Pisos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
1	175	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	186
2	6	107	3	0	0	0	0	0	0	0	0	116
3	0	13	30	0	0	0	0	0	0	0	0	43
4	0	0	4	94	0	0	0	0	0	0	0	98
5	0	0	0	40	23	0	0	0	0	0	0	63
6	0	0	0	0	9	2	0	0	0	0	0	11
7	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	6
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9
Total	181	131	37	134	32	3	2	2	1	3	12	538

n.º de pisos

A partir da análise da tabela de erros (Tabela 10) constata-se que algumas classes de pisos apresentam percentagens de erros de comissão e de omissão de alguma variabilidade.

A percentagem global média de erros de omissão é de 26%, sendo as classes dos pisos 7 e 8 as que mais se destacam pela negativa, na situação oposta temos a classe de piso 9 com 0% de erros de omissão.

**Tabela 10** - Tabela de erros de omissão e comissão de pisos estimados ao edifício

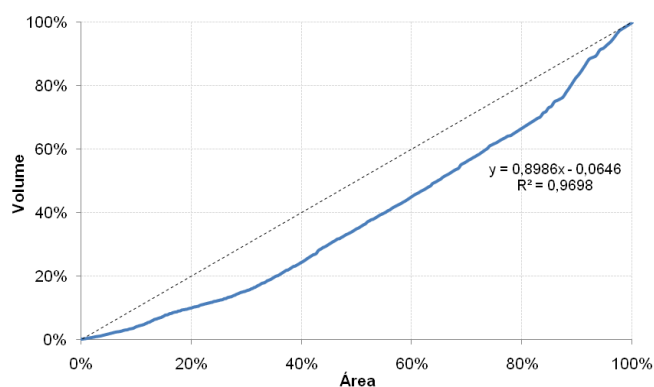
N.º de Pisos	Precisão Do Produtor	Erros Omissão	Precisão do Utilizador	Erros Comissão
1	97	3	94	6
2	82	18	92	8
3	81	19	70	30
4	70	30	96	4
5	72	28	37	63
6	67	33	18	82
7	50	50	50	50
8	50	50	50	50
9	100	0	33	67
10	67	33	40	60
11	75	25	100	0

Valores em %

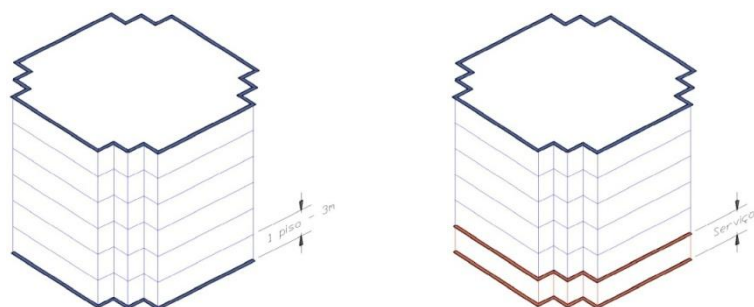
Em relação ao erro global médio de erros de comissão, este apresenta um valor de 38% em que a classe de piso 6 é aquela que apresenta o valor mais elevado com 82%, a classe do piso 11 apresenta 0% de erros de comissão.

### 7.2.2. Desagregação da população ao edifício

De acordo com Aubrecht *et al.* (2009), este método é baseado no tamanho dos edifícios individuais. Devido à informação de altura retirada do MDSn, o tamanho não é limitado à área de um edifício, mas pode ser estendido para o volume (Figura 65). A partir da área do edifício e o valor médio de altura de cada edifício, procedeu-se ao cálculo do respectivo volume. A partir da metodologia definida, pode-se presumir que o número de habitantes aumenta não só com a área mas também com a altura de construção, o volume é provavelmente mais preciso para a estimativa da população.

**Figura 65** - Correlação entre área e volume

Após o cálculo do volume de cada edifício, procedeu-se à identificação de todos os edifícios residenciais e mistos<sup>18</sup>. Em edifícios mistos foi necessário rectificar o volume habitável, eliminando-se qualquer parte do volume do edifício que possa ter o uso de serviços, obtendo-se apenas o volume considerado para a distribuição da população (Figura 66).



**Figura 66** - Representação de rectificação de volume para redistribuição da população ao edifício

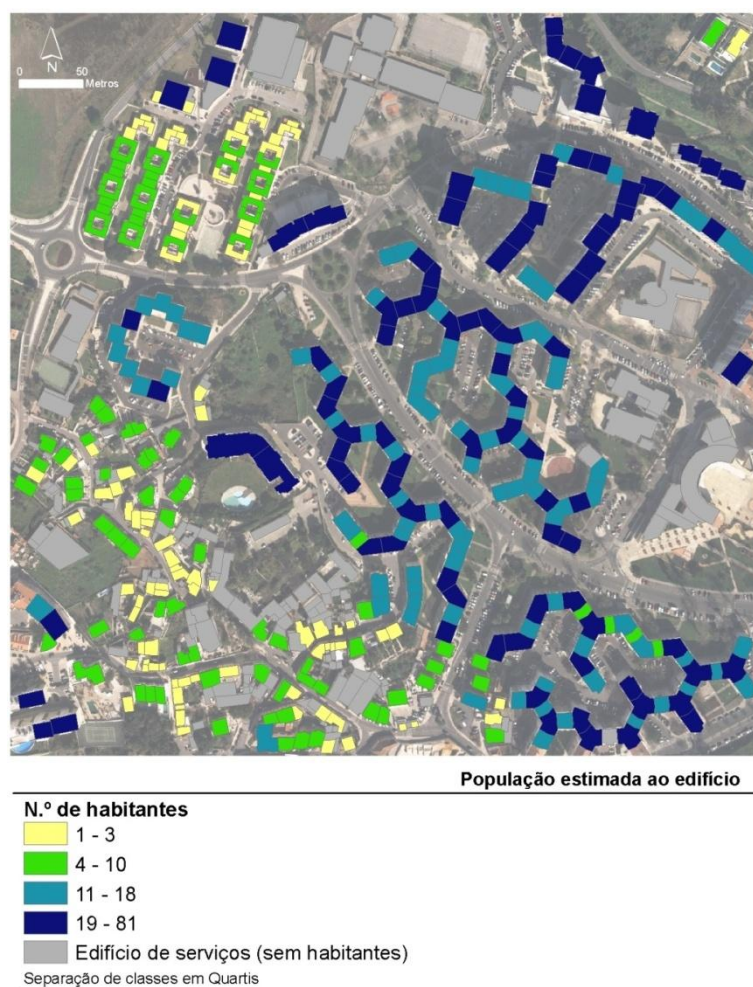
O cálculo da distribuição da população ao edifício inclui duas etapas:

i) Distribuir a população residente dos edifícios inseridos nas subsecções estatísticas que se encontram integralmente inseridas na área de estudo. A partir de uma regra de 3 simples distribui-se a população residente existente em cada subsecção da BGRI, com base na proporção do volume habitável de cada edifício para o volume total habitável na subsecção.

ii) Distribuir a população residente dos edifícios inseridos nas subsecções estatísticas que se encontram parcialmente inseridas na área de estudo. Nestas áreas teve-se em consideração o campo presente na BGRI do número total de edifícios (engloba edifícios exclusivamente residenciais e edifícios parcialmente residenciais). A partir dos edifícios presentes na área em estudo e o total dos edifícios das subsecções estatísticas, fez-se uma distribuição da população a partir de uma proporção linear, obtendo-se um novo valor total da população para cada subsecção que se encontrava parcialmente inserida na área de estudo. Após a obtenção do novo valor da população para cada subsecção estatística, o procedimento passa a ser idêntico ao método descrito no primeiro tópico.

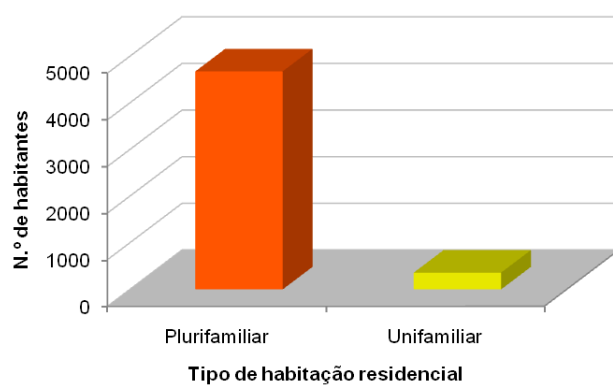
---

<sup>18</sup> Levantamento funcional (pag.44)



**Figura 67** - População redistribuída ao edifício

Face aos resultados obtidos, verifica-se que 93% (4.676 indivíduos) da população encontra-se distribuída pelos 268 edifícios residenciais plurifamiliares o que corresponde a uma média de 17 pessoas por edifício. Os restantes 7% (359 indivíduos) encontram-se distribuídos pelos 112 edifícios residenciais unifamiliares, média de 3 pessoas por edifício (Figura 67 e Figura 68).

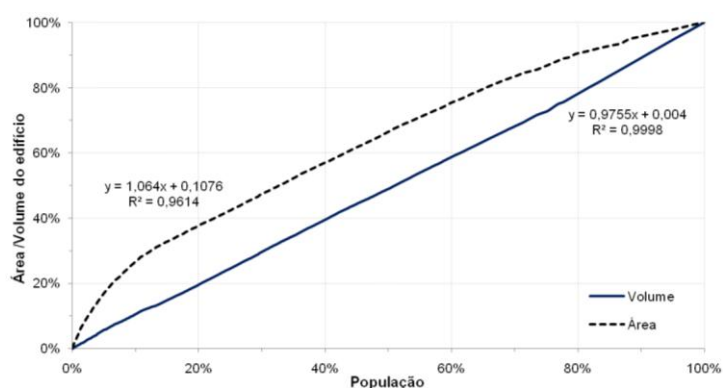


**Figura 68** - Distribuição da população por tipologia de edifícios



Na observação do comportamento da distribuição da população entre a área e o volume do edifício, constata-se que 50% da população está inserida em 67% da área total dos edifícios residenciais<sup>19</sup>.

Nos 10% iniciais da distribuição da população (Figura 69) estão inseridos essencialmente edifícios unifamiliares, o que explica o incremento acentuado da diferença entre a área e o volume do edifício.



**Figura 69** - Comparação entre área e volume da distribuição da população

Numa comparação entre os dois métodos de distribuição da população utilizados (mancha urbana e edifício) constata-se que houve um decréscimo de 1% de indivíduos presentes na área em estudo, a mancha urbana apresenta um total de 5.107 residentes e os valores calculados ao edifício apresentam um total de 5.036 indivíduos, isto deve-se ao maior rigor do segundo método.

A diferença de valores entre os dois métodos deve-se ao facto de que no método de redistribuição da população residente utilizado na mancha urbana englobar áreas residenciais e áreas não residenciais que fazem parte da mancha urbana, incrementando novos indivíduos na área residencial. O mesmo não acontece no método de redistribuição da população residente aos edifícios que apenas tem em conta a área do edificado.

<sup>19</sup> Levantamento funcional (pag.44)

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Comparação de resultados obtidos de diferentes modelos

Durante o procedimento metodológico estabelecido, foram produzidos dois modelos de elevação que serviram de base para o cálculo do modelo solar na área de estudo (MDT<sup>20</sup> e MDS<sup>21</sup>). O objectivo foi de poder comparar o resultado de ambos à mancha urbana<sup>22</sup>, e quantificar o erro associado a cada um.

Considerou-se a estimativa da população total residente na mancha urbana<sup>23</sup>, o consumo total de energia eléctrica é de 24,05GWh/ano<sup>24</sup>. Para se proceder a uma comparação directa da produção média *per capita* dos diferentes modelos solares obtidos à mancha urbana, identificou-se apenas áreas superiores a 1,68 MWh/m<sup>2</sup>/ano no modelo solar de terreno (MDT)<sup>25</sup> e solar de superfície (MDS)<sup>26</sup>, quantificando-se o ganho total considerando uma eficiência de 12% [Súri *et al.*, 2007]. O resultado do cálculo destes valores permitiu uma comparação com os valores provenientes do MDS ao edifício<sup>27</sup>, obtendo-se os seguintes resultados (Tabela 11);

<b>Tabela 11</b> - Cálculo de índices de consumo e produção de energia da mancha urbana			
Designação	MDT	MDS	MDS edifício
Irradiação solar anual total *	559,42	431,98	97,32
Valor médio de irradiação solar **	1,66	1,28	1,47
Área de PV***	82.575	27.401	16.978
Produzido PV *	16,95	5,70	3,42
Produção média <i>per capita</i> ****	3,32	1,12	0,67

\* GWh/ano; \*\* MWh/m<sup>2</sup>/ano; \*\*\* m<sup>2</sup>; \*\*\*\* MWh/ano/pessoa

Constata-se que existe uma evidente sobrestimação dos valores de irradiação solar do MDT e do MDS retirados à mancha urbana, em comparação com o MDS apenas com a área dos edifícios que serve de referência.

<sup>20</sup> Modelo Digital de Terreno (pag.47)

<sup>21</sup> Modelo Digital de Superfície (pag.50)

<sup>22</sup> Extracção de informação a partir de imagem DMC (pag.35)

<sup>23</sup> Redistribuição de população residente à mancha urbana (pag.70)

<sup>24</sup> O consumo anual para a cidade de Lisboa é de 4.71MWh/ano/pessoa (INE, anuário Estatístico de Portugal 2007, Instituto Nacional de Estatística (2008) 624)

<sup>25</sup> Mapa solar anual calculado a partir do MDT (pag.62)

<sup>26</sup> Mapa solar anual calculado a partir do MDS (pag.64)

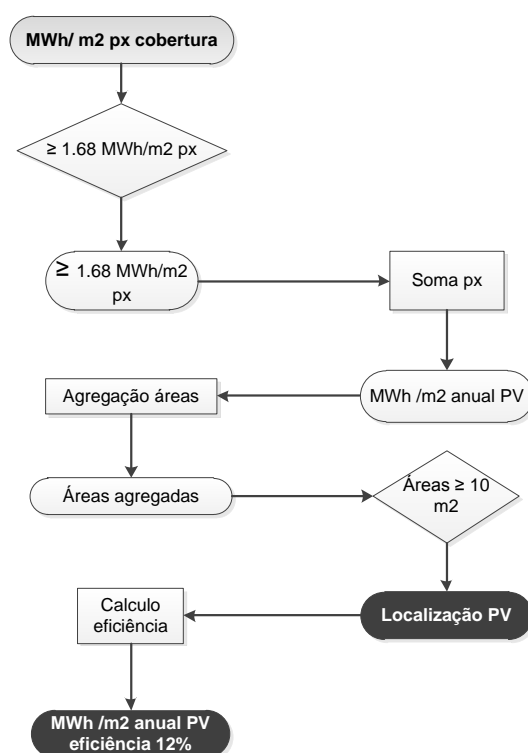
<sup>27</sup> Resultados de localização e eficiência do PV (pag.83)

Apesar de ambos apresentarem valores elevados na irradiação solar anual total, constata-se que o valor médio de irradiação solar é inferior no MDS à mancha urbana, justificado pela modelação apanhar mais áreas de sombreamento que os restantes.

Esta informação (MDS e MDT retirados à mancha urbana) apenas deve ser utilizada a uma determinada escala de trabalho, pois tem um erro associado de alguma significância, aconselhando-se o uso do modelo baseado no MDT (mancha urbana) por apresentar valores inseridos no intervalo da média anual nacional de irradiação solar global horizontal<sup>28</sup> [Izquierdo *et al.*, 2008]. Para uma análise detalhada como a localização de PVs e respectiva produção, aconselha-se o uso do MDS ao edifício.

## 8.2. Determinação de áreas para potencial localização de PV

Para alcançar um resultado o mais rigoroso no contexto da modelação espacial, utilizou-se como base o método irradiação solar incidente na superfície. O fluxograma de procedimentos da Figura 70 representa os passos metodológicos que foram necessários para alcançar o objectivo pretendido.



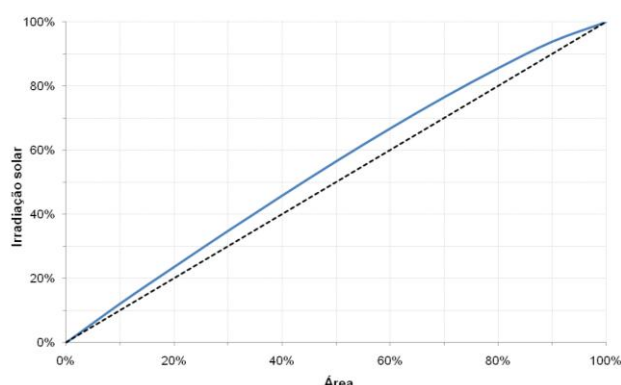
**Figura 70** - Fluxograma de procedimentos de determinação de áreas para potencial localização de PV

<sup>28</sup> Média anual da irradiação solar global horizontal estimada para Portugal varia entre 1,3MWh/m<sup>2</sup> em Vila Real e 1,8MWh/m<sup>2</sup> em Faro [GREENPRO, 2004]

Para determinar a localização do PV foram tidos em consideração alguns factores que possam vir a influenciar o seu desempenho: i) valor mínimo de irradiação de energia; ii) orientação; iii) sombreamento; iv) área mínima de implementação.

Neste procedimento para a localização do PV apenas foram consideradas áreas inseridas em coberturas de edifícios que apresentassem tipologia de residencial (unifamiliar e plurifamiliar) e serviços, desprezando edifícios classificados como anexo por estes apresentarem uma pequena área de cobertura.

A primeira fase deste processo metodológico foi constituída pela ordenação das áreas de  $1 \text{ m}^2$  (resolução espacial do mapa solar anual) segundo a irradiação anual. A Figura 71 mostra que para uma ocupação de 40% das melhores coberturas existe um aproveitamento de 46% da energia disponível, identificando-se como limiar mínimo o valor de  $1,68 \text{ MWh/m}^2/\text{ano}$ .



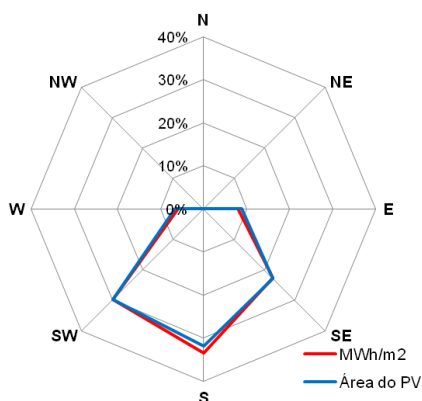
**Figura 71** - Quantificação percentual da irradiação solar em área

Os valores abaixo de  $1,68 \text{ MWh/m}^2/\text{ano}$ , que representam 60% da área de cobertura e que têm um aproveitamento de 64% de energia disponível, foram preteridos para a implementação de PV, o que originou a exclusão de todas as áreas que apresentassem irradiação solar baixa devido à sua orientação ou sombreamento resultante de edifícios anexos com valor superior de pisos, árvores ou algum tipo de elemento presente na cobertura que restringissem a energia solar incidente.

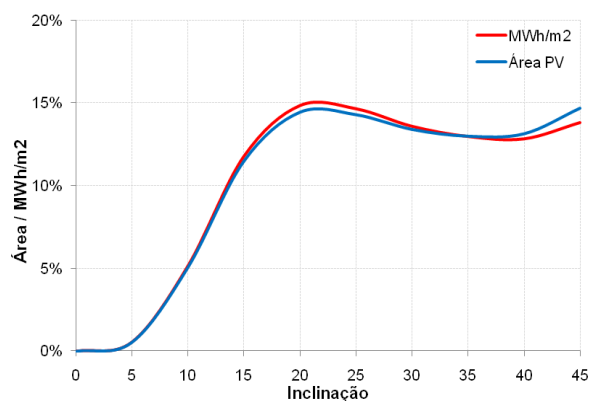
De facto, constata-se que os valores que apresentam maior percentagem em área de irradiação solar estão numa orientação a Sul (32%). Outro facto a realçar é que a partir dos pressupostos designados não foram seleccionadas áreas com orientação a Norte, Nordeste e Noroeste por apresentarem baixa irradiação solar (Figura 72).

No estudo do comportamento da irradiação solar anual nas diferentes inclinações das áreas para a localização do PV, constata-se que é nas áreas com inclinações entre os  $20^\circ$  e  $25^\circ$  que apresenta maior incidência solar (Figura 73).

Outro dos critérios definidos para a implementação do PV é a área de superfície disponível na cobertura. Considerando que um sistema demasiado pequeno será mais caro por unidade de energia produzida porque os custos não associados aos painéis são em primeira aproximação independentes da área de implementação, podemos considerar como área mínima  $10 \text{ m}^2$ .



**Figura 72** - Orientação total da distribuição da irradiação e área de PV



**Figura 73** - Distribuição percentual da irradiação e área de PV a partir da inclinação

Dos 444 edifícios identificados/considerados para a implementação de PV, apenas 33 não apresentam as condições mínimas para a colocação de sistemas PV (valor superior de  $1,68 \text{ MWh/m}^2/\text{ano}$  e área mínima de  $10 \text{ m}^2$ ), o que corresponde a que 93% dos edifícios em análise têm uma ou mais áreas susceptível de implementação.

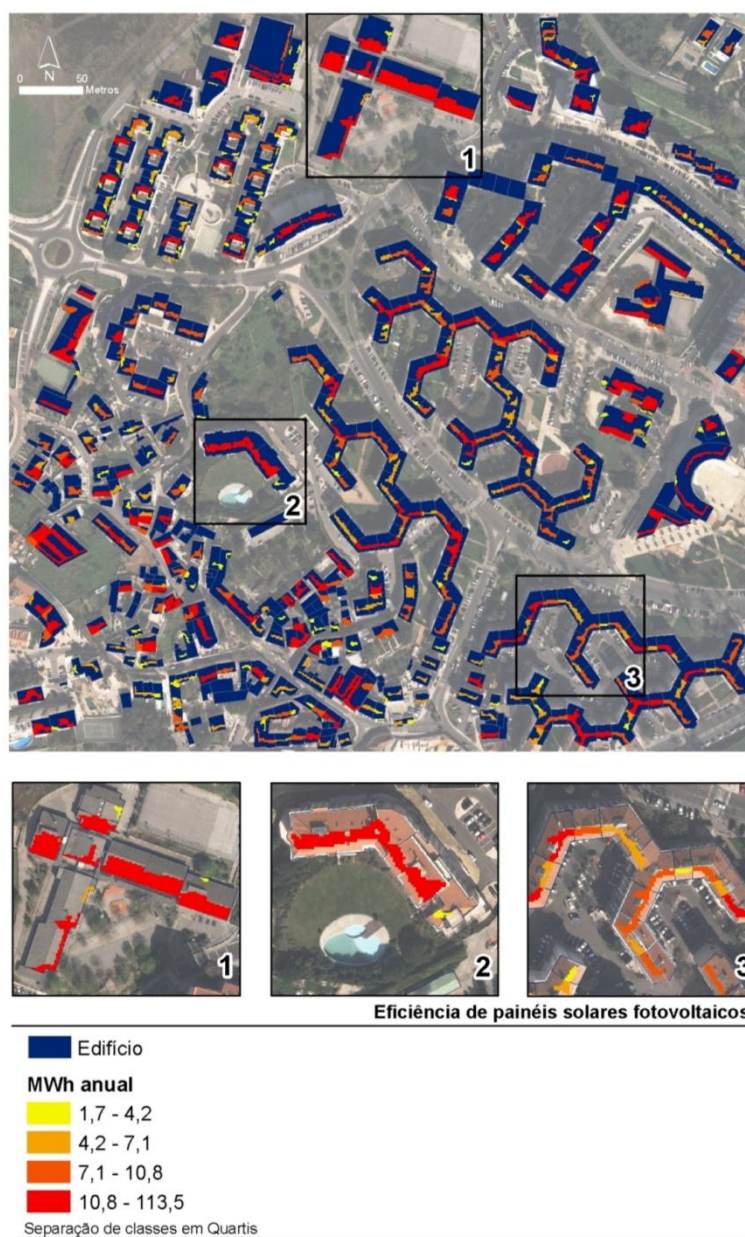
Os valores obtidos a partir da restrição imposta de área mínima fazem com que se obtenha uma área total de PV das coberturas em análise de  $23.266 \text{ m}^2$ , o que corresponde a 37% da totalidade dos edifícios com PV. Pode-se ainda observar, a partir da análise de todos os edifícios identificados para a implementação de um sistema solar fotovoltaico, que cada irá ter em média um PV com uma área de  $44 \text{ m}^2$ .

A eficiência típica de um módulo fotovoltaico é de 15% [Brito, 2009]. Como no processo de conversão da radiação incidente para energia eléctrica existe ainda uma perda da ordem de 25% [Súri *et al.*, 2007], associada a efeitos de temperatura e perdas por efeito Joule, a eficiência típica de um sistema PV é de 12%. A partir do valor estabelecido de 12% de eficiência de conversão, a quantificação de energia produzida total dos PVs identificados é de  $4,68 \text{ GWh/ano}$ , que representa um valor médio  $0,2 \text{ MWh/m}^2/\text{ano}$ . Da totalidade dos edifícios identificados com potencialidade para a localização de um sistema PV (Figura 74), os edifícios do tipo residências plurifamiliares são os que maior percentagem de produção têm (56%) uma vez que cobrem uma área mais extensa (Tabela 12).

**Tabela 12 - Resultados de localização e produção energia PV**

Tipologia	Quantidade (n.º de PV)	Área do PV (m <sup>2</sup> )	Quantidade (n.º de edifícios)	Produção energia PV (MWh/ano)
Unifamiliar	114	4082	104	819
Plurifamiliar	323	12896	250	2605
Serviços	84	6288	57	1260
Total	521	23266	411	4684

É interessante constatar que das 20% melhores coberturas para sistemas PVs, 72% são edifícios com tipologia de serviços, uma vez que estas apresentam maiores áreas contíguas e com menor sombreamento.

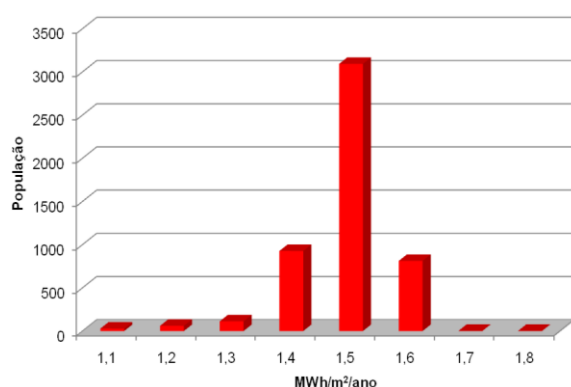


**Figura 74 - Mapa de energia fotovoltaica produzida - 1) Escola B2 e B3 Vieira da Silva 2) Edifício plurifamiliar 3) Edifício plurifamiliar**

A cobertura que apresenta maior produção de energia a partir de painéis solares foi localizada num pavilhão pertencente à Escola B2 e B3 Vieira da Silva, com uma produção anual de 113,5 MWh/ano, numa área de 547 m<sup>2</sup> que corresponde a 48% da sua cobertura.

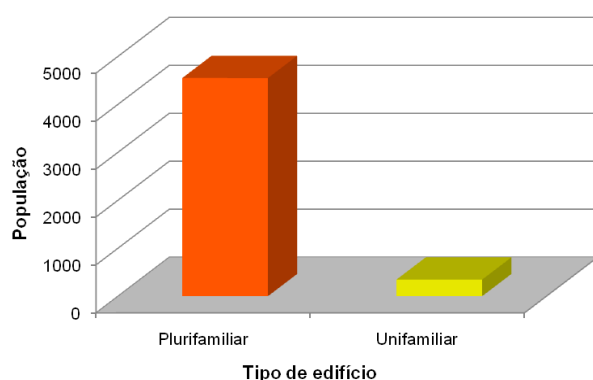
### 8.3. Análise de população potencial a servir por painéis fotovoltaicos

A partir da intersecção do valor médio de irradiação solar anual (MWh/m<sup>2</sup>/ano) presente em cada edifício<sup>29</sup> e a população residente abrangida por este<sup>30</sup>, constata-se que 61% população está inserida em edifícios que apresentam um valor médio de 1,5 MWh/m<sup>2</sup>/ano. A restante população com algum significado analítico encontra-se distribuída por edifícios que apresentam valores de 1,4 MWh/m<sup>2</sup>/ano com 18% e 1,6 MWh/m<sup>2</sup>/ano com 16% (Figura 75).



**Figura 75** - Quantificação da população abrangida em função da irradiação solar anual.

A partir das restrições impostas anteriormente para a localização de sistemas solares fotovoltaicos, foram identificados 411 edifícios que cumprem os critérios previamente definidos<sup>31</sup>. Destes, 354 são edifícios residenciais que têm como população estimada 4.893 indivíduos, 93% estão inseridas em edifícios residenciais plurifamiliares e os restantes 7% em edifícios residenciais unifamiliares (Figura 76).



**Figura 76** - População abrangida por PV nas diferentes tipologias de edifícios

<sup>29</sup> Quantificação solar anual ao edifício (pg.68)

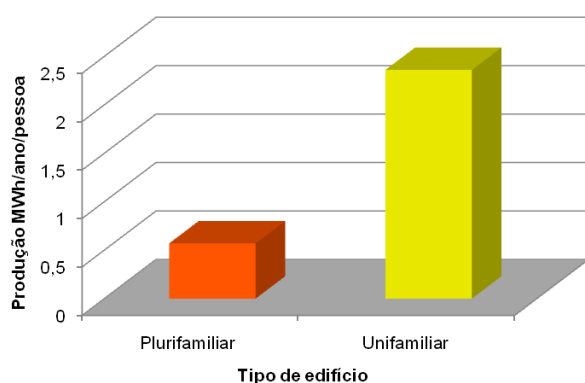
<sup>30</sup> Desagregação da população ao edifício (pg.75)

<sup>31</sup> Resultados de localização de PV (pg.83)

O consumo anual de electricidade para a cidade de Lisboa é 4,71 MWh/ano/pessoa [INE, 2010].

Considerando a estimativa da população total residente na área em estudo (5.036 indivíduos), o consumo total de energia eléctrica é de 23,72 GWh/ano. Tendo em conta apenas os residentes nos 411 edifícios que apresentam as condições mínimas para a colocação de sistemas PV<sup>32</sup> (4.893 indivíduos), o consumo de energia eléctrica da população presente nestes edifícios com PVs é de 23,05 GWh/ano. Considerando que a produção local de energia por via fotovoltaica nestes edifícios é de 3,42 GWh/ano<sup>33</sup> concluímos que a produção PV corresponde a 15% do consumo de energia eléctrica da população considerada.

Em análise aos diferentes tipos de edifícios residenciais (unifamiliares e plurifamiliares), estes exibem resultados bastantes díspares (Figura 77). Em residências unifamiliares, estas apresentam uma produção total de 0,81 GWh/ano com uma média *per capita* de 2,37 MWh/ano/pessoa, que corresponde a uma percentagem de 50% do consumo de energia eléctrica que pode ser satisfeito por sistemas PV. Em edifícios residenciais plurifamiliares estes oferecem uma produção total de 26,05 GWh/ano, representando um valor médio *per capita* de 0,57 MWh/ano/pessoa, que se traduz numa percentagem de 12% em redução de consumo.



**Figura 77** - Produção média *per capita* em diferentes tipologias de edifício

Dividindo a área total de sistemas solares fotovoltaicos em edifícios residenciais ( $16.978 \text{ m}^2$ )<sup>34</sup> pela população aí residente (4.893), obtemos uma área de cerca de  $3 \text{ m}^2$  *per capita*.

<sup>32</sup> Determinação de áreas para potencial localização de PV (pg.80)

<sup>33</sup> Resultados de produção PV (pg.83)

<sup>34</sup> Resultados de área total de PV (pg.83)



De acordo com o Despacho n.º 17313/2008 de 26 de Junho, que referencia os factores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis seleccionados para utilização final, bem como dos respectivos factores para cálculo da Intensidade Carbónica pela emissão de gases com efeito de estufa, referidos a quilograma de CO<sub>2</sub> equivalente (kgCO<sub>2</sub>e).

Com base no Despacho n.º 17313/2008 e em concordância com o Anexo II da Directiva 2006/32/CE, o valor de  $\eta_{\text{eléctrico}}$  é igual a 0,4, pelo que  $1 \text{ kWh} = 215 \times 10^{-6} \text{ tep}$ . Para efeitos de cálculo da intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, considera -se que o factor de emissão associado ao consumo de electricidade em território nacional é igual a 0,47 kgCO<sub>2</sub>e/kWh, de acordo com o designado na Portaria n.º 63/2008 de 21 de Janeiro, 1.ª série.

**Tabela 13** - Cálculo de índices de consumo e produção de energia

Designação	Valor
Consumo de energia eléctrica *	23,05
Produzido PV *	3,42
Produção média <i>per capita</i> **	0,70
Consumo médio <i>per capita</i> **	4,71
Percentagem do consumo que pode ser satisfeito com TEP ***	15%
TEP (com utilização PV) ***	4.956
CO <sub>2</sub> ****	4.220
CO <sub>2</sub> (com utilização PV) ****	10.834
TEP <i>per capita</i> ***	9.224
TEP PV <i>per capita</i> ***	1,01
CO <sub>2</sub> <i>per capita</i> ****	0,86
CO <sub>2</sub> PV <i>per capita</i> ****	2,21
	1,89

\* GWh/ano; \*\* MWh/ano/pessoa; \*\*\* tep; \*\*\*\* tonCO<sub>2</sub>e

Tendo estes valores como referência, constata-se que o equivalente ao consumo de tep é de 9.956 e de 10.834 tonCO<sub>2</sub>e emitido, com a utilização proposta de sistemas solares fotovoltaicos obtêm-se uma redução de 15% o que equivale a 4.220 tep e de 9.224 tonCO<sub>2</sub>e (Tabela 13). Se tivermos em consideração que para chegar a esta redução de valores, cada individuo apenas necessita de 3 m<sup>2</sup> de PV, pode-se então extrapolar que para uma dependência energética dos indivíduos presentes na área de estudo estes necessitam ter 20 m<sup>2</sup> de PV cada.

## 9. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 9.1. Qualidade do modelo digital de superfície

O modelo digital de superfície foi produzido a partir de dados LiDAR. Estes dados têm sido utilizados como fonte e ferramenta precisa para a elaboração de modelos digitais de elevação, tornando-se uma opção válida em comparação aos métodos tradicionais como fotogrametria e levantamento de campo [Liu *et al.*, 2008].

A interpolação do modelo foi feita a partir do método *IDW* que apresenta bons resultados quando a amostragem de pontos é densa e bem distribuída pela superfície. Independentemente da área de estudo, poucas dissemelhanças existem entre os resultados produzidos pelos diferentes interpoladores se a amostragem de pontos for elevada, i.e. quanto maior for a amostragem menor o impacto do interpolador no resultado final [Chaplot *et al.*, 2006].

O modelo extraído foi calculado a partir de uma resolução de dados LiDAR de aproximadamente 1 ponto por  $m^2$ . A resolução escolhida para a grelha matricial *raster* do modelo foi definida com base na relevância de detalhe que se quis modelar: uma resolução espacial de 1 metro calculada a partir da raiz quadrada da razão do número de pontos disponíveis e a área da superfície [Hu, 2003]. Após a extracção do modelo digital de superfície procedeu-se a uma análise visual, constatando-se a existência de irregularidades em determinadas superfícies das coberturas. Optou-se então pela utilização de um filtro de baixa frequência, o que originou uma suavização das diferentes águas dos telhados e perda de algum detalhe em algumas coberturas.

Apesar de uma baixa densidade de pontos por  $m^2$  e da suavização das coberturas devido ao filtro de baixa frequência utilizado, o modelo apresenta uma boa precisão de identificação de elementos na superfície, obtendo-se uma modelação satisfatória das diferentes coberturas dos edifícios. O modelo digital de superfície apenas exhibe uma perda de exactidão em coberturas que apresentam uma estrutura mais complexa e nas extremidades das águas dos edifícios (beirais dos edifícios).

Observa-se assim que a qualidade do modelo é directamente influenciada pela quantidade de pontos LiDAR de *input*, aconselhando-se em modelos futuros a utilização entre 4 a 6 pontos por  $m^2$  para a elaboração do modelo digital de superfície [Carneiro *et al.*, 2009].

## 9.2. Qualidade do modelo solar

O modelo solar produzido foi aferido a partir de dados provenientes do *PVGIS*, que por sua vez foram validados com base numa comparação directa de dados obtidos em 539 estações meteorológicas [Súri *et al.*, 2008]. A aferição do modelo solar apresenta um erro médio global de 1,8% em comparação com os dados retirados do *PVGIS* para a latitude de 38,43° N e longitude de 9,8 W (0,11% de erro médio no plano horizontal e de 3,5% de erro médio num plano de 34°). Este desvio foi considerado aceitável.

A metodologia implementada na quantificação da irradiação solar na superfície (edifícios) tem em consideração não só a irradiação presente no topo dos edifícios, mas também a área real de cada superfície, i.e., considerando a inclinação e área do topo do edifício.

Esta metodologia permitiu determinar com maior rigor áreas para implementação de painéis solares fotovoltaicos, utilizando-se o critério de identificar áreas com valores superiores de 1,68 MWh/m<sup>2</sup>/ano (valor mínimo que corresponde à selecção dos melhores 20% de irradiação solar nas coberturas em análise) e com uma área mínima de 10 m<sup>2</sup> no topo dos edifícios (área com requisitos mínimos de custo/eficiência [Carneiro *et al.*, 2009]).

A partir do procedimento metodológico proposto, estimou-se o valor de energia eléctrica produzida pelos painéis solares fotovoltaicos, a partir de um valor de eficiência de 12% [Súri *et al.*, 2007], obtendo-se valores que devem ser analisados dentro do contexto nacional para a implementação de novas políticas energéticas.

Os dados provenientes do modelo solar obtido podem ser utilizados em diferentes áreas e com diferentes objectivos, e.g., agricultura e floresta, em que a quantificação da radiação presente é um factor importante para o seu bom desenvolvimento.

### 9.3. Qualidade da redistribuição de população

A abordagem implementada para a redistribuição da população traduz-se em dois modelos de análise de diferentes escalas: i) redistribuir a população à escala da mancha urbana; ii) redistribuir a população à escala do edifício.

O modelo de redistribuição da população na mancha urbana teve como objectivo: i) quantificar a população residente; ii) quantificar a população que se encontra exposta a uma determinada irradiação solar; iii) quantificar o consumo de energia eléctrica.

Para este cálculo foi usada uma abordagem tradicional de quantificação em área, que serve os propósitos de análise a esta escala, e tem em conta apenas as áreas de subsecções da BGRI que são intersectadas pela mancha urbana, i.e., distribui a população a partir da proporção da área da subsecção intersectada.

O modelo para redistribuir a população à escala do edifício é baseado no método desenvolvido por Aubrecht *et al.* (2009), com adaptações devido aos dados utilizados. O objectivo principal deste método é quantificar a população que pode ser servida por painéis solares fotovoltaicos e respectiva produção média *per capita*. O método desenvolvido utiliza os dados de volume para cada edifício, obtidos a partir da área referente à sua planimetria e respectiva altura média do edifício obtida a partir do MDSn.

A redistribuição da população teve em conta não só o volume do edifício mas também as diferentes actividades económicas presentes, estimando-se a população apenas em edifícios residenciais e partes de edifícios identificados como “mistos”, dados obtidos a partir do levantamento funcional efectuado, excluindo-se ainda a área do volume identificada como “não residencial”. A metodologia empregue permitiu desagregar ao edifício os dados da população inseridos nas subsecções estatísticas da BGRI, obtendo-se um resultado de maior rigor da estimativa da população nos edifícios inseridos na superfície em estudo.

A escala e desagregação espacial da informação utilizada contribuíram de forma decisiva para a qualidade e quantidade da informação gerada. Ambas as abordagens adequam-se às diferentes escalas de estudo, trazendo informação de análise pertinente sobre a população para as mais variadas temáticas, e.g., energia, protecção civil, planeamento, ambiente e *geomarketing*.

#### 9.4. Automatização de procedimentos

A aplicação desenvolvida<sup>35</sup> foi elaborada a partir do *Model Builder* extensão existente no *ArcToolbox* aplicação do *ArcGIS*. O intuito da criação do modelo na aplicação foi de automatizar todo o processo metodológico desenvolvido, permitindo estimar a irradiação solar em diferentes escalas de trabalho com diferentes tipos de dados. O objectivo é que esta aplicação permita calcular a irradiação solar à escala da mancha urbana, mas também o cálculo da irradiação solar ao nível do edifício, possibilitando quantificar a energia produzida por um sistema fotovoltaico. A aplicação calcula a irradiação solar global anual a partir do somatório da irradiação directa e difusa para a superfície em análise. O modelo apenas necessita de dois elementos de entrada para executar o cálculo: i) dados *raster* do modelo digital de elevação (proveniente de dados *LiDAR* ou de fotogrametria); ii) dados vectoriais, correspondentes à área urbana que se pretende analisar consoante a escala de trabalho (mancha urbana ou edifícios).

Com base nos parâmetros padrão predefinidos, o modelo permite extrair os seguintes elementos de informação em diferentes escalas de trabalho: i) radiação solar global; ii) radiação solar directa; iii) radiação solar difusa; iv) duração da radiação solar directa (unidade de saída em horas).

Outro tipo de informação pode ser retirado do modelo no caso de se optar por trabalhar à escala do edifício: i) área real da cobertura; ii) MWh/m<sup>2</sup>/ano; iii) localização preferencial para os painéis solares fotovoltaicos; iv) quantificação da energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos.

Os resultados obtidos pelo modelo são extraídos para uma camada de informação que pode ser visualizada em 2D (mapas que indicam a quantificação da irradiação solar à escala do edifício ou da mancha urbana e localização e quantificação dos painéis solares fotovoltaicos). A aplicação desenvolvida no *Model Builder* mostrou ser uma ferramenta de grande utilidade para a automatização de procedimentos, permitindo não só tratar como manipular grandes quantidades de informação de carácter espacial, e possibilitando de uma forma acessível e intuitiva produzir resultados essenciais ao processo de tomada de decisão para diferentes escalas de trabalho.

---

<sup>35</sup> Código da aplicação encontra-se em anexo

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos solares têm vindo a ter nos últimos anos uma evolução gradual, facilitando a análise de informação de acordo com a sua organização espacial, permitindo análises céleres e eficazes de resultados, obtendo-se informação indispensável para um melhor planeamento e implementação de políticas energéticas ligadas ao desenvolvimento e gestão de recursos existentes no território.

Os propósitos primários que a dissertação objectivou foram alcançados com sucesso. Os procedimentos metodológicos definidos permitem a aplicação do modelo solar em diferentes áreas e escalas de análise. A informação final obtida poderá ser disponibilizada, não só, a entidades públicas e privadas, como também ao público em geral a partir de aplicações implementadas na internet (*WEBGIS*), possibilitando a identificação de áreas presentes no território com potencial solar para a implementação de painéis solares fotovoltaicos e respectiva quantificação da produção de energia eléctrica. A metodologia desenvolvida poderá ainda ser implementada em novas áreas de construção em meio urbano, obtendo novos conhecimentos da realidade presente no território, informação relevante de utilização em diversas áreas de trabalho (geografia, arquitectura, engenharia, paisagismo e planeamento).

O procedimento metodológico definido contempla, não só, a quantificação solar presente no território, mas também, a obtenção de modelos tridimensionais do território e estimativa da população ao edifício. A informação adquirida possibilita a obtenção de novos modelos de desenvolvimento, permitindo repensar novos espaços urbanos que estejam em expansão e a reestruturação de áreas já edificadas e respectiva monitorização. Estes novos modelos traduzem-se assim em novas ferramentas de gestão urbanística e de planeamento urbano, permitindo analisar o território em diferentes escalas de trabalho e temática distintas.

Num mundo de crescente aumento da população em áreas urbanas e de recursos limitados, a utilização dos modelos obtidos permitem uma melhor compreensão da realidade existente no território, possibilitando um melhor planeamento e uso mais eficiente dos recursos presentes. Conjugando variáveis socioeconómicas e ambientais relevantes, estes modelos possibilitam estudos e resultados pertinentes de análise, como a redução do consumo dos recursos energéticos produzido a partir de fontes não renováveis e custos associados.

## BIBLIOGRAFIA

### Bibliografia fundamental

- AUBRECHT, C., STEINNOCHER, K., HOLLAUS, M., WAGNER, W. (2009). "Integrating earth observation and GIScience for high resolution spatial and functional modeling of urban land use". In *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 33, n.º 1. pp. 15-25.
- BENZ, U.C., HOFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELSER, I., HEYNEN, M. (2004). "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information". In *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 58. pp. 239–258
- BRENNAN, R., WEBSTER, T.L. (2006). "Object-oriented land cover classification of LiDAR-derived surfaces". In *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 32, n.º 2. pp. 162-172.
- BRITO, M.C. (2009). "Energia solar fotovoltaica". Em *Urbanismo E Construção*, n.º 688. Lisboa. pp. 8-9.
- CAETANO, M., SANTOS, T. CARRÃO, H., NUNES, A., BARREIROS, M. (2001). "Desenvolvimento de aplicações para generalização de cartografia temática". In *Proceedings of the ESIG'2001-VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica*. Portugal: Oeiras. pp.1-11.
- CARNEIRO, C., KARZAND, M., GOLAY, F., LU, Y. M., VETTERLI, M. (2009). "Assessing digital surface models by verifying shadows: a sensor network approach". In *Proceedings 6th International Symposium on Spatial Data Quality*. Newfoundland. pp. 1-16.
- CARNEIRO, C., MORELLO, E., RATTI, C., GOLAY, F. (2008). "Solar radiation over the urban texture: LiDAR data and image processing techniques for environmental analysis at city scale". In *3d Geo-Information Sciences*. South Korea: Seoul. pp.1-26.
- CENTENO, J., MIQUELES, A. (2004). "Extraction of buildings in Brazilian urban environments using high resolution remote sensing imagery and laser scanner data". In *XXth ISPRS Congress*, 20. Turkey: Istanbul. pp. 589-692.
- CHAPLOT, V., DARBOUX, F., BOURENNANE, H., LEGUÉDOIS, S., SILVERA, N., PHACHOMPHON, K. (2006). "Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density". In *Geomorphology* vol. 77, n.º 1-2. pp. 126–141.
- Direção Geral de Energia e Geologia. (2009). "Estatísticas Rápidas – Setembro/Outubro 2009". Em DGEG, n.º55/56. pp. 1-22.
- DUBAYAH, R., RICH, P. M. (1995). "Topographic solar radiation models for GIS". In *International Journal Of Geographic Information Systems*, vol. 9. pp. 405-419.
- EHLERS, M. (2006). "New developments and trends for urban remote sensing". In *CRC Press*. pp. 357-375.
- ESRI. (2009). "ArcGIS Desktop Help 9.3, including 9.3.1 ". ESRI. USA: Califórnia (Disponível em: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3.1>).

- EUROSTAT. (2009). “Panorama of Energy: Energy Statistics to support EU policies and Solutions”. *European Commission*. pp. 1-150.
- FERREIRA, H. F. D. (2008). “Estudo exploratório sobre a utilização do recete na avaliação do desempenho passivo de edifícios residenciais”. Porto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pp. 1-123. (Relatório da Dissertação do MIEM).
- FONSECA, A. D., FERNANDES, J. C. (2004). “Detecção Remota”. *Lidel*. Lisboa. pp. 1-23.
- FREIRE, S., AUBRECHT C. (2010). “Towards improved risk assessment - Mapping spatio-temporal distribution of human exposure to earthquake hazard in the Lisbon Metropolitan Area”. In *Gi4DM 2010, Geomatics for Crisis Management*. Italy: Torino. pp. 1-6.
- FU, P., RICH, P. M. (2000). “A geometric solar radiation model and its applications in agriculture and forestry”. In *Proceedings of the Second International Conference on Geospatial Information In Agriculture And Forestry*. pp. 357-364.
- FUJII, T., FUKUCHI, T. (2005). “Laser Remote Sensing”. In *Taylor & Francis*. pp. 1-62.
- GONÇALVES, G.; GONÇALVES-SECO, L. (2007). “Utilização de dados lidar na classificação de objectos situados em zonas rurais”. Em *Actas da V Conferencia Nacional de Cartografia e Geodesia*. Editora Lidel. pp.167-176.
- GREENPRO. (2004). “Energia fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projectos e instalação”. *IST - Instituto Superior Técnico*. pp. 1.1-2.19.
- GUO, Q., LI, W., YU, H., ALVAREZ, O. (2010). “Effects of topographic variability and LiDAR, sampling density on several DEM interpolation methods”. In *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 76, n.º 6. pp. 1-12.
- HAALA, N. (2009). “Comeback of Digital Image Matching”. In *Photogrammetric Week 2009*. Germany: Heidelberg. pp. 289 – 301.
- HAN, S. H., HEO, J. , SOHN, H. G., YU, K. (2009). “Parallel processing method for airborne laser scanning data using a pc cluster and a virtual grid”. In *Sensors*, vol. 9, n.º 4. pp. 2555-2573.
- HAYWARD, T. (2009). “Consumption by fuel, 1965 – 2008”. In *Statistical Review of World Energy 2009*. BP. pp. 1-48.
- HEIER, H., (2001). “Deploying DMC in todays workflow”. In *Photogrammetric Week*. Germany: Heidelberg. pp. 35-45.
- HETRICK, W.A., RICH, P. M., BARNES, F. J., WEISS, S. B. (1993). “GIS-based solar radiation flux models”. In *Proceedings of the Asprs-Acsm Annual Convention Asprs 3*. pp. 132-143.
- HINZ, A., DÖRSTEL, C, HEIER, H., (2001). “DMC – The Digital Sensor Technology of Z/I-Imaging”. In *Photogrammetric Week 2001*. Germany: Heidelberg. pp 93 - 103.
- HOFIERKA, J, SÚRI, M. (2002). “The solar radiation model for open source GIS: implementation and applications”. In *Open Source GIS – Grass*. Italy: Trento.



- HOFIERKA, J. (1997). "Direct solar radiation modelling within an open GIS environment" In *Proceedings of the Joint European GIS Conference 1997*. Austria: Vienna. pp. 575–584.
- HU, Y. (2003). "Automated extraction of digital terrain models, roads and buildings using airborne LiDAR data". *Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary* Canada: Calgary, Alberta. pp. 1-153. (PhD Thesis).
- INE (Instituto Nacional de Estatística). (2001). "Recenseamento Geral da População e da Habitação". Lisboa.
- IZQUIERDO, S., RODRIGUES, M., FUEYO, N. (2008). "A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations". In *Solar Energy*, 82. pp. 929–939.
- JENSEN, J. R. (2007). "Remote sensing of the environment: an earth resource perspective". In *Prentice-Hall*. Upper Saddle River. pp. 335-353.
- KASSNER, R., KOPPE, W., SCHÜTTENBERG, T., BARETH, G. (2008). "Analysis of the solar potential of roofs by using official LiDAR data". In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVII, part B4. China: Beijing. pp. 399-403.
- LATIFOVIC, R., ZHU, Z., CIHLAR, J., GIRI, C., OLTHOF, I. (2004). "Land cover mapping of North and Central America-Global Land Cover 2000". In *Remote Sensing of Environment*, vol. 89. pp. 116–127.
- LIU, X., ZHANG, Z. (2008). "LiDAR data reduction for efficient and high quality dem generation". In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 37, Part B3b. pp. 173-178.
- LLOYD, C. D., ATKINSON, P. M. (2002). "Deriving DSMs from LiDAR data with kriging". In *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23. pp. 2519–2524.
- MATOS, J. L. (2008). "Fundamentos de informação geográfica". *Lidel*, 5ª edição. Lisboa. pp. 175-190.
- MÉSZÁROS, I., MIKLÁNEK, P., PARAJKA, J. (2002). "Solar energy income modelling in mountainous areas". In *Erb and Northern European Friend Project 5 Conference*. Slovakia. pp. 127–135.
- MUNEER, T. (1997). "Solar radiation and daylight models for energy efficient design of buildings". In *Architectural Press*. Oxford. pp. 35-103.
- PAINHO, M., CAETANO, M. (2006). "Cartografia de Ocupação do Solo - Portugal Continental, 1985-2000 - CORINE Land Cover 2000". Em *Instituto do Ambiente*. Portugal: Amadora. pp 1-94.
- RAMOS, C., VENTURA, J. E. (1998). "A energia solar em Portugal: potencialidades e diferenciação regional". Em *Inforgeo, (Actas do III Congresso Da Geografia Portuguesa)*, n.º 12/13. Lisboa. pp. 453-461.

- REDWEIK, P. (2007). “Fotogrametria aérea”. Em *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*. pp. 46-59.
- RODRIGUEZ, E., MORRIS, C. S., BELZ, J. E., CHAPIN, E. C., MARTIN, J.M., DAFFER, W., HENSLEY, S. (2005). “An assessment of the SRTM topographic products”. In *Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory*. Pasadena, California. pp. 1-143.
- RORIZ, L., ROSENDO, J., LOURENÇO, F., CALHAU, K. (2010). “Energia solar em edifícios”. Em *Edições Orion*. pp. 1-37.
- ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W. (1974). “Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS”. In *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. Greenbelt, MD: NASA. pp. 301–317.
- RUIZ-ARIAS, J. A., TOVAR-PESCADOR, J., POZO-VÁZQUEZ, D., ALSAMAMRA, H. (2009). “A comparative analysis of dem-based models to estimate the solar radiation in mountainous terrain”. In *International Journal Of Geographical Information Science*. vol. 23, n.º 8. pp. 1049–1076.
- SORENSEN, B. (2001). “GIS management of solar resource data” In *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 67, n.º 1. pp. 503-509.
- SÚRI, M. (2007). “Solar resource data and tools for an assessment of photovoltaic systems”. In *Status Report 2006, Office for Official Publications of the European Communities*. Luxembourg. pp. 96-102.
- SÚRI, M., HULD, T. A., DUNLOP, E. D. (2005). “PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe”. In *International Journal Of Sustainable Energy*. vol. 24, n.º 2. pp. 55–67.
- SÚRI, M., HULD, T. A., DUNLOP, E. D., OSSENBRINK, H. A. (2007). “Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries”. In *Solar Energy*, n.º 81. pp. 1295–1305.
- SÚRI, M., HULD, T., CEBECAUER, T., DUNLOP, E. D. (2008). “Geographic aspects of photovoltaics in Europe: contribution of the PVGIS website”. In *Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 1, n.º 1. pp 34-41.
- WEHR, A., LOHR, U. (1999). “Airborne laser scanning—an introduction and overview”. In *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol.54. pp. 68–82.
- WILSON, J. P., GALLANT, J. C. (2000). “Secondary topographic attributes”. In *Wilson J.P. and Gallant J.C. eds, Terrain Analysis: Principle and Applications*. John Wiley and Sons. USA: New York. pp. 97–132.
- WITTMANN, H., BAJONS, P., DONEUS, M., FRIESINGER, H. (1997). “Identification of roof areas suited for solar energy conversion systems”. In *Renewable Energy*, vol. 11, n.º1. pp. 25-36.

## Bibliografia complementar

ALEXANDER, C., SMITH-VOYSEY, S., JARVIS, C., TANSEY, K. (2009). “Integrating building footprints and LiDAR elevation data to classify roof structures and visualize buildings”. In *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 33. pp. 285–292.

ANES, A. A. A. (2007). “A influência da massa e da exposição solar no comportamento térmico dos edifícios”. *Instituto Superior de Engenharia de Lisboa*. Lisboa

ASSUNÇÃO, M. G. T., BOTELHO, M. F., CENTENO, J. A. S., PACHECO, A. P. (2007). “Filtragem e classificação de pontos LiDAR para a geração de Modelo Digital do Terreno”. Em *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto INPE*. Brasil: Florianópolis. pp. 3681-3688.

AUBRECHT, C., STEINNOCHER, K., HOLLAUS, M., WAGNER W. (2009). “Integrating earth observation and GIScience for high resolution spatial and functional modeling of urban land use”. In *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 33. pp. 15–25.

BARTIER, P. M., KELLER, C. P. (1996). “Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). In *Computers & Geosciences*, vol. 22, n.º 7. pp.795–799.

BC-CARMS. (2006). “LiDAR – Overview of technology, applications, market features & industry”. In *Centre for Applied Remote Sensing, Modelling and Simulation*. University of Victoria. pp. 1-49.

BECKER, S. (2001). “Calculation of direct solar and diffuse radiation in Israel”. In *International Journal of Climatology*, 21. pp. 1561–1576.

BODANSKY, E., GRIBOV, A., PILOUK, M. (2002). “Smoothing and compression of lines obtained by raster-to-vector conversion”. In *Lecture notes in computer science. Springer 2390*. pp. 256–265.

BRENNAN, R., WEBSTER, T. L. (2006). “Object-oriented landcover classification of LiDAR-derived surfaces”. In *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 32, n.º 2. pp. 162-172.

BRITO, M. C. (2001). “Electricidade solar: principais tecnologias”. Em *Jornal ABC Ambiente*. pp. 1-5.

CARVALHO, F. R. S. (2000). “Modelo espectral simplificado de transferência radiativa para condições de céu limpo em Portugal. Aplicação no cálculo de irradiâncias no ultravioleta”. Em *Radioprotecção*. Portugal: Lisboa. pp. 1-10.

CAVALLI, M, TAROLLI, P., MARCHI, L., FONTANA, G. D. (2008). “The effectiveness of airborne LiDAR data in the recognition of channel-bed morphology”. In *Catena*, 73. pp. 249-260.

CEBECAUER, T., SÚRI, M., PEREZ, R. (2010). “High performance MSG satellite model for operational solar energy applications”. In *ASES National Solar 2010 Conference*. Phoenix, Arizona. pp. 1-5.

- CHEN, Y., SU, W., LI, J., SUN, Z. (2009). "Hierarchical object oriented classification using very high resolution imagery and LiDAR data over urban areas". In *Advances in Space Research*. 43. pp. 1101–1110.
- COMINI, R., CLEMENT, F., PUENTE, F., ORLANDI, A., OLIVEIRA, I., LIMA, P., BEIRÃO, D. (2008). "Eficiência energética nos edifícios residenciais – Energy efficiency in Residential Buildings. In *DECO and ADENE*.
- DASH, J., STEINLE, E., SINGH, R. P., BAHR, H.P. (2004). "Automatic building extraction from laser scanning data: an input tool for disaster management". In *Advances in Space Research*, vol 33. pp. 317-322.
- DÖRSTEL, C. (2003). "DMC - Practical experiences and Photogrammetric System Performance". In *Fritsch D. (Ed.), Photogrammetric Week 2003*. Germany: Heidelberg. pp. 59-65.
- EUROSTAT. (2009). "Energy, transport and environment indicators". *European Commission*. pp. 1-184.
- FREIRE, S. (2009). "Modelação em SIG da distribuição espacial e temporal da população em meio metropolitano com alta resolução". Em *Cartografia e Geodesia 2009, Actas da VI Conferencia Nacional de Cartografia e Geodesia*. LIDEL. pp. 554-562.
- FREIRE, S. (2010). "As distribuições nocturna e diurna da população da área metropolitana de Lisboa: Modelação em SIG com recurso a parâmetros empíricos". In *ESIG 2010*. Portugal: Oeiras. pp. 1-10.
- FU, P., RICH, P. M. (2000). "The solar analyst 1.0 user manual". In *Helios Environmental Modeling Institute, Llc*. USA: Vermont St. pp.1-49.
- GREENPRO. (2004). "Solar térmico, manual sobre tecnologias, projectos e instalação". *IST-Instituto Superior Técnico*. pp. 1.1-2.15.
- HOLLAND, D. A., SANCHEZ-HERNANDEZ, C., GLADSTONE, C., (2008). "Detecting changes to topographic features using high resolution imagery". In *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVII, Part B4. China: Beijing. pp. 1153-1158.
- HONTORIA, L., AGUILERA, J., ZUFIRIA, P. (2005). "An application of the multilayer perceptron: solar radiation maps in Spain". In *Solar Energy*, 79. pp. 523–530.
- HUBER, M., SCHICKLER, W., HINZ, S., BAUMGARTNER, A. (2003). "Fusion of LiDAR data and aerial imagery for automatic reconstruction of building surfaces". In *Proceedings of the IEEE/ISPRS joint Workshop on "Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas"*. Berlin. 2003; IEEE. Piscataway. pp 82 - 86.
- HULD, T. A., SÚRI, M., KENNY, R. P., DUNLOP, E. D. (2005). "Estimating PV performance over large geographical regions". In *Proceedings Of The 31st Ieee Photovoltaic Specialists Conference And Exhibition*. USA: Florida. 3-7 January.
- INSTITUTO DO AMBIENTE. (2005). "Relatório do Estado do Ambiente 2004". Edição IA. Portugal: Amadora. pp. 1-101.

- JOCHER, A., HOFLE, B., RUTZINGER, M., PFEIFER, N. (2009). "Automatic roof plane detection and analysis in airborne LiDAR point clouds for solar potential assessment" In *Sensors*, vol 9. pp. 5241-5262.
- KOC SAN, D., TURKER, M. (2007). "Automatic building extraction from high resolution stereo satellite images". In *ISPRS Commission VII*. Turkey: Istanbul. pp. 1-6.
- KRAUS, K., PFEIFER, N. (2001). "Advanced dtm generation from LiDAR data". In *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol XXXIV-3/W4. Annapolis. pp. 22-24.
- LUDWIG, D., LANIG, S., KLÄRLE, M. (2009). "Sun-area towards location-based analysis for solar panels by high resolution remote sensors (LiDAR)". In *Icc2009*. Chile: Santiago. pp. 1-10.
- OPITZ, D. W., RAO, R., BLUNDELL, J. S. (2006). "Automated 3-d feature extraction from terrestrial and airborne LiDAR". In *Proceedings of the 1st International Conference on Object-Based Image Analysis*. pp. 1-5.
- PINHEIRO, E. S. (2003). "Imagens com alta resolução espacial: novas perspectivas para o sensoriamento remoto". Em *Espaço & Geografia*, vol.6. pp. 43-64.
- PRIESTNALL, G., JAAFAR, J., DUNCAN, A. (2000). "Extracting urban features from LiDAR digital surface models". In *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 24. pp. 65-78.
- ROTTENSTEINER, F., JANSÁ J. (2002). "Automatic extraction of buildings from LiDAR data and aerial images". In *ISPRS Commission IV, Symposium 2002 Ottawa*. Canada. pp.1-6.
- RUIZ-ARIAS, J. A., TOVAR-PESCADOR, J., POZO-VÁZQUEZ, D. ALSAMAMRA H. (2009). "A comparative analysis of DEM-based models to estimate the solar radiation in mountainous terrain". In *International Journal of Geographical Information Scienc*, vol. 23, n.º 8. pp. 1049–1076.
- SANTOS, T., FREIRE, S., PORTUGAL, I., FONSECA, A., TENEDÓRIO, J. A. (2009). "Detecção Remota urbana: avaliação da qualidade da extracção do edificado a partir de imagens de satélite de alta resolução espacial". Em *Cartografia e Geodesia 2009, Actas da VI Conferencia Nacional de Cartografia e Geodesia*. Lidel. pp. 160-170.
- SANTOS, T., FREIRE, S., TENEDÓRIO, J. A., FONSECA, A. (2010). "Extracção de edifícios em áreas urbanas densas com imagens QuickBird e dados LiDAR". *ESIG 2010*. Portugal: Oeiras. pp.1-12.
- SORENSEN, B. (2001). "GIS management of solar resource data" In *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 67, n.º 1. pp. 503-509.
- SOUSA, T. A., PREGITZER, R. L., MARTINS, J. S., AFONSO, J. L. (2005). "Estudo do Panorama das Energias Renováveis na União Europeia e Sugestões para Portugal". Em *ENER'05 – Conferência sobre Energias Renováveis e Ambiente em Portugal*. pp. 1.87-1.92.
- SÚRI, M., HOFIERKA, J. (2004). "A new GIS-based solar radiation model and its application to photovoltaic assessments". In *Transactions in GIS*, 8. pp. 175-190.

TANG, L., DÖRSTEL, C., JACOBSEN, K., HEIPKE, C., HINZ, A. (2000). “Geometric accuracy potential of the digital modular camera”. In *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIII, Part B4/3. pp. 1051-1057.

WALTER, V. (2005). “Object-based classification of integrated multispectral and LiDAR data for change detection and quality control in urban areas”. In *Proceedings of the ISPRS WG VII/1 Human Settlements and Impact Analysis*, vol. 36 n.º8/W27. pp. 1-6.

WANG, M., TSENG, Y. (2005). “Automatic 3D feature extraction from Structuralized LiDAR data”. In *26th Asian Conference on Remote Sensing*. Vietnam: Hanoi. pp. 1-9.

WEICHELT, H., WAGNER, B., KLAEDTKE, H. (2005). “Remote sensing approach for digital aerial imagery”. In *Proceedings of the ISPRS Hannover Workshop*. Germany: Hannover. pp. 1-12.

WIGINTON, L.K., NGUYEN, H.T., PEARCE, J.M. (2010). “Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy”. In *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 34, n.º 4. pp. 345-357.

XIAOYE, L. (2008). “Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues”. In *Progress in Physical Geography*, vol. 32, n.º 1. pp. 31-49.

YOU, S., HU, J., NEUMANN, U., FOX, P. (2003). “Urban site modeling from LiDAR”. In *Second International Workshop on Computer Graphics and Geometric Modeling CGGM'2003*. Canada: Montreal. pp. 1-8.

ZHOU, W., TROY, A. (2008). “An object-oriented approach for analysing and characterizing urban landscape at the parcel level”. In *International Journal of Remote Sensing*, vol. 29, n.º 11. pp. 3119–3135.

## **Legislação**

Decreto-Lei n.º 38 382 de 7 de Agosto de 1951. *Diário da República*. Ministério das Obras Públicas.

Despacho n.º 17313/2008 de 26 de Junho. *Diário da República n.º 122/2008 - II Série*. Ministério da Economia e da Inovação - Direcção-Geral de Energia e Geologia.

Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de Abril de 2006. *Jornal Oficial da União Europeia L 114/64 de 27 de Abril de 2006*. Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia.

Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 169/2005 de 24 de Outubro. *Diário da República n.º 204/2005 - I Série B*. Presidência do Conselho de Ministros.

Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 29/2010 de 15 de Abril. *Diário da República n.º 73/2010 - I Série*. Presidência do Conselho de Ministros.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema síntese de estrutura da dissertação.....	2
Figura 2 - Dependência energética do exterior (EU -27) .....	4
Figura 3 – Evolução de consumo de energia primária em Portugal .....	6
Figura 4 - Energia Eléctrica a partir de Fontes de Energias Renováveis para o ano 20077	
Figura 5 - Soma anual de irradiação global numa superfície óptima inclinada para a Europa.....	8
Figura 6 - Valores médios anuais de insolação: a) Portugal Continental; b) AML.....	9
Figura 7 - Irradiância global num plano fixo em Lisboa .....	10
Figura 8 - Disposição das câmaras na DMC .....	14
Figura 9 – Área abrangida pelas 4 câmaras pancromáticas e por cada câmara multispectral na DMC .....	14
Figura 10 – Imagem DMC .....	15
Figura 11 – Aquisição de dados LiDAR .....	17
Figura 12 – Geração de múltiplos retornos a partir de um pulso laser .....	18
Figura 13 - Nuvem de pontos LiDAR .....	18
Figura 14 – Modelo Digital de Superfície a partir de pontos LiDAR .....	19
Figura 15 – Imagem Aérea Digital - DMC .....	19
Figura 16 - Fluxograma de procedimentos geral.....	28
Figura 17 - Localização da área de estudo .....	29
Figura 18 - Imagem aérea digital (DMC).....	31
Figura 19 - Dados LiDAR .....	33
Figura 20 - Fluxograma de procedimentos de extracção de mancha urbana.....	35
Figura 21 - Área treino de solo a descoberto.....	36
Figura 22 - Classificação de solo a descoberto .....	36
Figura 23 - Índice de vegetação por diferença normalizada NDVI.....	38

Figura 24 - Área treino de mancha urbana .....	39
Figura 25 - Classificação de mancha urbana .....	39
Figura 26 - Representação de generalização com PAEK .....	40
Figura 27 - Mapa temático sem generalização .....	41
Figura 28 - Mapa temático com generalização.....	41
Figura 29 – Classificação de mancha urbana: a) Imagem DMC; b) Classificação de referência; c) Classificação automática com generalização .....	43
Figura 30 - Tipologia de edifícios .....	44
Figura 31 - N.º de edifícios.....	44
Figura 32 - Habitações Plurifamiliares .....	44
Figura 33 - Habitações Unifamiliares.....	44
Figura 34 - Anexo.....	45
Figura 35 - Casa de saúde.....	45
Figura 36 - Levantamento funcional da área de estudo.....	45
Figura 37 - Fluxograma de procedimentos de MDT .....	47
Figura 38 - Método TIN a) Pontos e curvas de nível; b) Triangulação.....	48
Figura 39 - Algoritmo de <i>Delaunay</i> simples .....	48
Figura 40 - Dados de entrada para Modelo Digital de Terreno.....	49
Figura 41 - Modelo Digital de Terreno .....	49
Figura 42 - Fluxograma de procedimentos de Modelo Digital de Superfície .....	50
Figura 43 - Representação de cálculo de raio variável .....	52
Figura 44 - Esquema de filtro de baixa frequência.....	53
Figura 45 - Modelo Digital de Superfície.....	53
Figura 46 - Fluxograma de procedimentos de aferição de modelo solar.....	54
Figura 47 – Edifício padrão de aferição de modelo solar.....	55
Figura 48 - Resultado da parametrização solar: a) <i>Viewshed</i> ; b) <i>Skymap</i> ; c) <i>Sunmap</i> ; d) Sobreposição de <i>viewshed</i> com <i>skymap</i> ; e) Sobreposição de <i>viewshed</i> com <i>sunmap</i> ....	56



Figura 49 - Calculo solar de modelo de edificio padrão: a) Janeiro; b) Fevereiro; c) Março; d) Abril; e) Maio; f) Junho; g) Julho; h) Agosto; i) Setembro; j) Outubro; k) Novembro; l) Dezembro .....	59
Figura 50 - Comparação solar entre <i>ArcGIS</i> e <i>PVGIS</i> (Hh - Plano com inclinação de 0°; H(34) - Plano com inclinação de 34°) .....	59
Figura 51 - Erro mensal (Hh - Plano com inclinação de 0°; H(34) - Plano com inclinação de 34°) .....	60
Figura 52 - Fluxograma de procedimentos de quantificação de energia no terreno.....	61
Figura 53 - Mapa solar anual calculado a partir do MDT .....	62
Figura 54 - Fluxograma de procedimentos de quantificação de energia na superfície ..	63
Figura 55 - Mapa solar anual calculado a partir do MDS .....	64
Figura 56 - Orientação total da distribuição da irradiação e área de cobertura .....	65
Figura 57 - Distribuição percentual da irradiação e área da cobertura a partir da inclinação.....	65
Figura 58 - Esquema de cálculo de área a partir da inclinação .....	66
Figura 59 - Quantificação dos edifícios de diferentes tipologias em função da irradiação solar anual a que estão expostos .....	67
Figura 60 - Mapa solar anual ao edifício .....	68
Figura 61 - Fluxograma de procedimentos de redistribuição da população à mancha urbana .....	70
Figura 62 - Fluxograma de procedimentos de redistribuição da população ao edifício.	71
Figura 63 - Modelo Digital de Superfície Normalizado.....	72
Figura 64 - Comparação entre o número de pisos estimados e levantados .....	73
Figura 65 - Correlação entre área e volume .....	75
Figura 66 - Representação de rectificação de volume para redistribuição da população ao edifício .....	76
Figura 67 - População redistribuída ao edifício .....	77
Figura 68 - Distribuição da população por tipologia de edifícios .....	77

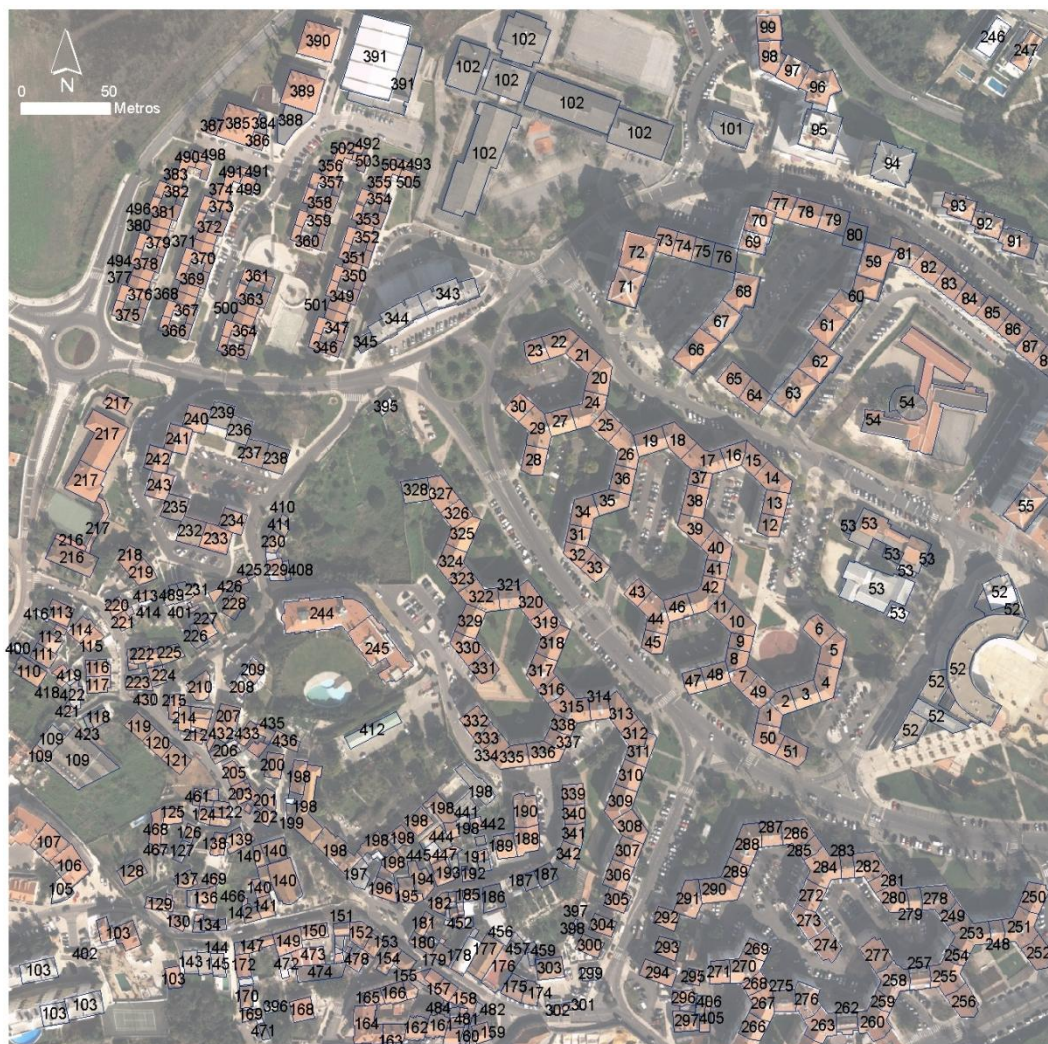
Figura 69 - Comparação entre área e volume da distribuição da população .....	78
Figura 70 - Fluxograma de procedimentos de determinação de áreas para potencial localização de PV .....	80
Figura 71 - Quantificação percentual da irradiação solar em área .....	81
Figura 72 - Orientação total da distribuição da irradiação e área de PV .....	82
Figura 73 - Distribuição percentual da irradiação e área de PV a partir da inclinação ..	82
Figura 74 - Mapa de energia fotovoltaica produzida - 1) Escola B2 e B3 Vieira da Silva 2) Edifício plurifamiliar 3) Edifício plurifamiliar .....	83
Figura 75 - Quantificação da população abrangida em função da irradiação solar anual. .....	84
Figura 76 - População abrangida por PV nas diferentes tipologias de edifícios .....	84
Figura 77 - Produção média <i>per capita</i> em diferentes tipologias de edifício.....	85

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações da câmara aerofotogramétrica digital DMC .....	30
Tabela 2 - Especificações do equipamento e dados provenientes do equipamento LiDAR Leica ALS06.....	32
Tabela 3 - Resultados de classes extraídas sem e com generalização .....	41
Tabela 4 - Matriz de contingência das classes extraídas .....	42
Tabela 5 - Tabela de erros de omissão e comissão das classes extraídas.....	42
Tabela 6 - Informação de dados LiDAR .....	51
Tabela 7 - Parâmetros de difusão e transmissividade para calibração de modelo solar.	58
Tabela 8 - Resultados de área das coberturas com e sem rectificação .....	66
Tabela 9 - Matriz de contingência de pisos estimados ao edifício .....	74
Tabela 10 - Tabela de erros de omissão e comissão de pisos estimados ao edifício.....	75
Tabela 11 - Cálculo de índices de consumo e produção de energia da mancha urbana.	79
Tabela 12 - Resultados de localização e produção energia PV .....	83
Tabela 13 - Cálculo de índices de consumo e produção de energia .....	86

# ANEXOS

## Anexo I - Mapa de levantamento funcional



Levantamento funcional (numeração)

 Edifício

## Anexo II - Tabela de levantamento funcional

Número	ID levantamento	N.º Polícia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
1	1	1	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
2	2	3	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
3	3	5	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
4	4	7	4	Residencial	Cabeleireiro R/C	Plurifamiliar
5	5	9	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
6	6	11	4	Serviços	Centro de saúde	Serviços
7	7	7	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
8	8	8	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
9	9	9	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
10	10	10	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
11	11	11	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
12	12	20	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
13	13	21	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
14	14	31	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
15	15	33	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
16	16	35	4	Residencial	Café R/C	Plurifamiliar
17	17	37	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
18	18	39	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
19	19	41	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
20	20	47	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
21	21	49	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
22	22	73	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
23	23	75	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
24	24	5	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
25	25	4	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
26	26	5	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
27	27	3	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
28	28	64	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
29	29	66	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
30	30	68	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
31	31	9	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
32	32	62	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
33	33	60	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
34	34	3	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
35	35	4	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
36	36	5	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
37	37	9	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
38	38	10	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
39	39	11	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
40	40	12	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar

Número	ID levantamento	N.º Policia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
41	41	13	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
42	42	14	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
43	43	58	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
44	44	56	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
45	45	54	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
46	46	3	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
47	47	52	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
48	48	50	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
49	49	48	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
50	50	46	4	Residencial	Clínica R/C	Plurifamiliar
51	51	44	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
52	52	0	3	Centro cívico	Vários edifícios	Serviços
53	52	0	3	Centro cívico	Vários edifícios	Serviços
54	52	0	3	Centro cívico	Vários edifícios	Serviços
55	52	0	2	Centro cívico	Vários edifícios	Serviços
56	52	0	2	Centro cívico	Vários edifícios	Serviços
57	52	0	2	Centro cívico	Vários edifícios	Serviços
58	53	0	1	Escola	Santa Casa de misericórdia de Oeiras	Serviços
59	53	0	1	Escola	Santa Casa de misericórdia de Oeiras	Serviços
60	53	0	1	Escola	Santa Casa de misericórdia de Oeiras	Serviços
61	53	0	2	Escola	Santa Casa de misericórdia de Oeiras	Serviços

Número	ID levantamento	N.º Policia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
62	53	0	1	Escola	Santa Casa de misericórdia de Oeiras	Serviços
63	53	0	2	Escola	Santa Casa de misericórdia de Oeiras	Serviços
64	53	0	2	Escola	Santa Casa de misericórdia de Oeiras	Serviços
65	54	0	1	Escola	Escola Sílvia Philips	Serviços
66	54	0	2	Escola	Escola Sílvia Philips	Serviços
67	55	1	10	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
68	59	9	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
69	60	7	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
70	61	5	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
71	62	3	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
72	63	1	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
73	64	30	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
74	65	29	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
75	66	1	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
76	67	2	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
77	68	3	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
78	69	4	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
79	70	5	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
80	71	71	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
81	72	69	11	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
82	73	67	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
83	74	65	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
84	75	63	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
85	76	61	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
86	77	53	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
87	78	51	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
88	79	49	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
89	80	47	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
90	81	43	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
91	82	41	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar

Número	ID levantamento	N.º Polícia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
92	83	39	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
93	84	37	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
94	85	35	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
95	86	33	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
96	87	31	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
97	88	29	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
98	91	24	5	Residencial	Ginásio e Loja	Plurifamiliar
99	92	26	6	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
100	93	28	7	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
101	94	32	10	Residencial	Garagem R/C	Plurifamiliar
102	95	34	10	Residencial	Lojas R/C	Plurifamiliar
103	96	40	8	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
104	97	42	9	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
105	98	8	8	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
106	99	13	7	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
107	101	2	2	Serviços	Habitado	Serviços
108	102	0	1	Escola	B2 e B3 Vieira da Silva	Serviços
109	102	0	2	Escola	B2 e B3 Vieira da Silva	Serviços
110	102	0	1	Escola	B2 e B3 Vieira da Silva	Serviços
111	102	0	1	Escola	B2 e B3 Vieira da Silva	Serviços
112	102	0	1	Escola	B2 e B3 Vieira da Silva	Serviços
113	102	0	1	Escola	B2 e B3 Vieira da Silva	Serviços
114	103	33	5	Residencial	Condomínio fechado	Plurifamiliar
115	103	33	5	Residencial	Condomínio fechado	Plurifamiliar
116	103	33	5	Residencial	Condomínio fechado	Plurifamiliar
117	103	33	2	Residencial	Condomínio	Unifamiliar



Número	ID levantamento	N.º Polícia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
					fechado	
118	103	33	2	Residencial	Condomínio fechado	Unifamiliar
119	105	26	3	Residencial	Loja R/C (stand de automóveis)	Plurifamiliar
120	106	0	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
121	107	0	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
122	109	17	2	Serviços	Armazém	Serviços
123	109	17	3	Serviços	Armazém	Serviços
124	109	17	2	Serviços	Armazém	Serviços
125	110	8	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
126	111	10	1	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
127	112	12	1	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
128	113	14	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
129	114	25	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
130	115	23	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
131	116	21	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
132	117	19	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
133	118	15	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
134	119	13	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
135	120	11	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
136	121	9	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
137	122	3	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
138	123	4	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
139	124	6	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
140	125	8	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
141	126	10	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
142	127	12	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
143	128	14	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
144	129	20	2	Serviços	Habitado	Serviços
145	130	1	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
146	131	8	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
147	132	2	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
148	133	16	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
149	134	14	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
150	135	8	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
151	136	11	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
152	137	9	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
153	138	1	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar

Número	ID levantamento	N.º Polícia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
154	139	1	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
155	140	0	1	Serviços	Igreja	Serviços
156	140	0	3	Serviços	Igreja	Serviços
157	140	0	3	Serviços	Igreja	Serviços
158	140	0	3	Serviços	Igreja	Serviços
159	140	0	1	Serviços	Igreja	Serviços
160	141	4	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
161	142	6	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
162	143	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
163	144	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
164	145	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
165	146	25	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
166	147	23	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
167	148	21	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
168	149	19	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
169	150	17	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
170	151	15	2	Serviços	Habitado	Serviços
171	152	13	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
172	153	11	2	Restaurante	Habitado	Serviços
173	154	9	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
174	155	7	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
175	156	5	1	Serviços	Centro de estudos	Serviços
176	157	3	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
177	158	1	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
178	159	50	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
179	160	52	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
180	161	54	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
181	162	56	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
182	163	58	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
183	164	2	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
184	165	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
185	166	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
186	167	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
187	168	1	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
188	169	2	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
189	170	4	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
190	171	8	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
191	172	10	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
192	174	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
193	175	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar

Número	ID levantamento	N.º Policia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
194	176	4	1	Serviços	Restaurante	Serviços
195	177	6	2	Serviços	Sociedade filarmónica	Serviços
196	178	8	3	Serviços	Sociedade filarmónica	Serviços
197	179	10	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
198	180	12	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
199	181	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
200	182	1	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
201	183	4	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
202	184	6	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
203	185	8	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
204	186	12	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
205	187	16	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
206	187	16	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
207	188	13	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
208	189	11	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
209	190	15	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
210	191	0	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
211	192	9	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
212	193	5	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
213	194	1	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
214	195	7	1	Serviços	Restaurante	Serviços
215	196	5	3	Residencial	Café R/C	Plurifamiliar
216	197	4	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
217	198	0	3	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
218	198	0	3	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
219	198	0	3	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços

Número	ID levantamento	N.º Policia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
220	198	0	3	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
221	198	0	3	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
222	198	0	1	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
223	198	0	1	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
224	198	0	3	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
225	198	0	3	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
226	198	0	3	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
227	198	0	1	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários edifícios)	Serviços
228	198	0	1	Serviços	Casa de saúde de Carnaxide (Vários	Serviços

Número	ID levantamento	N.º Polícia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
edifícios)						
229	199	2	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
230	200	7	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
231	201	3	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
232	202	1	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
233	203	0	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
234	204	6	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
235	205	8	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
236	206	10	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
237	207	2	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
238	208	10	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
239	209	12	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
240	210	8	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
241	211	3	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
242	212	1	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
243	213	12	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
244	214	14	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
245	215	2	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
246	216	0	1	Serviços	Escola Primária	Serviços
247	216	0	1	Serviços	Escola Primária	Serviços
248	217	0	1	Serviços	Jardim de	Serviços
249	217	0	1	Serviços	Infância	Serviços
					Jardim de	
250	217	0	1	Serviços	Infância	Serviços
					Jardim de	
251	217	0	1	Serviços	Infância	Serviços
					Jardim de	
252	218	0	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
253	219	0	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
254	220	22	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
255	221	20	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
256	222	18	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
257	223	1	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
258	224	3	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
259	225	5	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
260	226	9	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
261	227	11	3	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
262	228	15	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
263	229	18	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
264	230	20	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar

Número	ID levantamento	N.º Polícia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
265	231	5/7	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
266	232	6	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
267	233	2	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
268	234	1	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
269	235	8	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
270	236	10	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
271	237	11	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
272	238	12	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
273	239	13	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
274	240	14	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
275	241	15	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
276	242	16	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
277	243	17	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
278	244	14	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
279	245	25	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
280	246	47	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
281	247	45	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
282	248	21	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
283	249	23	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
284	250	6	4	Residencial	Lojas R/C	Plurifamiliar
285	251	4	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
286	252	0	4	Residencial	Banco R/C	Plurifamiliar
287	253	148	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
288	254	150	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
289	255	152	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
290	256	154	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
291	257	50	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
292	258	49	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
293	259	3	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
294	260	2	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
295	262	0	5	Serviços	PSP	Serviços
296	263	162	5	Residencial	Café R/C	Plurifamiliar
297	266	10	5	Residencial	Loja R/C	Plurifamiliar
298	267	9	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
299	268	18	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
300	269	19	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
301	270	20	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
302	271	21	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
303	272	32	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
304	273	33	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
305	274	34	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar

Número	ID levantamento	N.º Polícia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
306	275	8	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
307	276	7	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
308	277	37	5	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
309	278	25	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
310	279	27	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
311	280	29	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
312	281	31	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
313	282	33	4	Residencial	Café e minimercado R/C	Plurifamiliar
314	283	35	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
315	284	37	4	Residencial	Clínica R/C	Plurifamiliar
316	285	39	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
317	286	41	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
318	287	43	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
319	288	14	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
320	289	12	4	Residencial	Café R/C	Plurifamiliar
321	290	10	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
322	291	8	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
323	292	6	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
324	293	4	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
325	294	2	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
326	295	1	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
327	296	3	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
328	297	5	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
329	299	0	1	Serviços	Churrasqueira	Serviços
330	300	5	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
331	301	0	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
332	302	48	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
333	303	3	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
334	304	7	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
335	305	9	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
336	306	11	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
337	307	13	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
338	308	15	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
339	309	17	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
340	310	19	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
341	311	21	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
342	312	45	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
343	313	47	4	Residencial	Café e loja de	Plurifamiliar

Número	ID levantamento	N.º Polícia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
					calçado R/C	
344	314	49	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
345	315	51	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
346	316	53	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
347	317	55	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
348	318	57	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
349	319	59	4	Residencial	Padaria e Talho R/C	Plurifamiliar
350	320	61	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
351	321	63	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
352	322	65	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
353	323	67	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
354	324	69	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
355	325	71	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
356	326	73	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
357	327	75	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
358	328	77	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
359	329	28	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
360	330	26	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
361	331	24	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
362	332	20	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
363	333	18	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
364	334	16	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
365	335	14	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
366	336	12	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
367	337	10	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
368	338	8	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
369	339	0	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
370	340	22	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
371	341	20	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
372	342	18	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
373	343	74	6	Residencial	Café e Lojas R/C	Plurifamiliar
374	344	76	6	Residencial	Cartório e Seguros R/C	Plurifamiliar
375	345	0	1	Serviços	Espaço Jovem	Serviços
376	346	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
377	347	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
378	348	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
379	349	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar



Número	ID levantamento	N.º Policia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
380	350	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
381	351	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
382	352	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
383	353	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
384	354	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
385	355	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
386	356	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
387	357	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
388	358	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
389	359	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
390	360	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
391	361	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
392	363	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
393	363	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
394	364	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
395	365	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
396	366	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
397	367	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
398	368	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
399	369	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
400	370	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
401	371	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
402	372	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
403	373	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
404	374	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
405	375	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
406	376	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
407	377	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
408	378	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
409	379	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
410	380	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
411	381	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
412	382	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
413	383	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
414	384	0	1	Serviços	Associação de moradores	Serviços
415	385	0	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
416	386	0	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar
417	387	0	1	Residencial	Habitado	Unifamiliar

Número	ID levantamento	N.º Policia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
418	388	0	1	Serviços	Jardim de	Serviços
419	389	0	4	Residencial	Infância Habitado	Plurifamiliar
420	390	0	4	Residencial	Habitado	Plurifamiliar
421	391	0	3	Serviços	Pavilhão Desportivo da escola B2 e B3 Vieira da Silva	Serviços
422	391	0	2	Serviços	Pavilhão Desportivo da escola B2 e B3 Vieira da Silva	Serviços
423	392	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
424	393	24	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
425	394	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
426	395	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
427	396	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
428	397	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
429	398	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
430	399	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
431	400	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
432	401	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
433	402	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
434	403	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
435	404	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
436	405	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
437	406	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
438	407	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
439	408	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
440	409	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
441	410	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
442	411	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
443	412	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
444	413	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
445	414	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
446	415	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
447	416	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
448	417	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
449	418	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
450	419	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo

Número	ID levantamento	N.º Policia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
451	420	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
452	421	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
453	422	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
454	423	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
455	424	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
456	425	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
457	426	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
458	427	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
459	428	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
460	429	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
461	430	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
462	431	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
463	432	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
464	433	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
465	434	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
466	435	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
467	436	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
468	437	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
469	438	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
470	439	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
471	440	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
472	441	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
473	442	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
474	443	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
475	444	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
476	445	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
477	446	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
478	447	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
479	448	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
480	449	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
481	450	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
482	451	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
483	452	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
484	453	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
485	454	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
486	455	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
487	456	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
488	457	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
489	458	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
490	459	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
491	460	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo

Número	ID levantamento	N.º Policia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
492	461	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
493	462	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
494	463	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
495	464	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
496	465	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
497	466	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
498	467	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
499	468	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
500	469	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
501	470	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
502	471	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
503	472	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
504	473	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
505	474	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
506	475	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
507	476	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
508	477	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
509	478	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
510	479	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
511	480	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
512	481	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
513	482	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
514	483	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
515	484	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
516	485	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
517	486	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
518	487	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
519	488	0	1	Anexo	Não habitado	Anexo
520	489	7	2	Residencial	Habitado	Unifamiliar
521	490	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
522	490	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
523	491	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
524	491	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
525	492	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
526	493	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
527	494	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
528	495	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
529	496	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
530	497	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
531	498	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
532	499	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar

Número	ID levantamento	N.º Policia	N.º Pisos	Descrição	Nota	Tipologia
533	500	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
534	501	0	2	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
535	502	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
536	503	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
537	504	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar
538	505	0	1	Residencial	Bairro social	Plurifamiliar

### Anexo III - Código de aplicação solar

```
// -----  
  
// md.js  
  
// Created on: seg Mar 14 2011 07:34:26  
  
// (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
  
// Usage: md <Modelo_Digital_de_Elevação> <Edifício> <Solar_superfície>  
<Solar_Edifício> <Painel_Solar_Fotovoltaico> <Área_m2> <Janeiro__Difusa__>  
<Janeiro__Transmissividade__> <Fevereiro__Difusa__>  
<Fevereiro__Transmissividade__> <Março__Difusa__> <Março__Transmissividade__>  
<Abril__Difusa__> <Abril__Transmissividade__> <Maio__Difusa__>  
<Maio__Transmissividade__> <Junho__Difusa__> <Junho__Transmissividade__>  
<Julho__Difusa__> <Julho__Transmissividade__> <Agosto__Difusa__>  
<Agosto__Transmissividade__> <Setembro__Difusa__>  
<Setembro__Transmissividade__> <Outubro__Difusa__>  
<Outubro__Transmissividade__> <Novembro__Difusa__>  
<Novembro__Transmissividade__> <Dezembro__Difusa__>  
<Dezembro__Transmissividade__>  
  
// -----  
  
// Create the Geoprocessor object  
  
var gp = WScript.CreateObject("esriGeoprocessing.GPDispatch.1");  
  
// Set the necessary product code  
  
gp.SetProduct("ArcInfo");  
  
// Check out any necessary licenses  
  
gp.CheckOutExtension("spatial");  
  
gp.CheckOutExtension("3D");  
  
// Load required toolboxes...  
  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst  
Tools.tbx");  
  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion  
Tools.tbx");  
  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Data Management  
Tools.tbx");
```

```

gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/3D Analyst
Tools.tbx");

gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Analysis
Tools.tbx");

// Set the Geoprocessing environment...

gp.scratchWorkspace = "C:\\Solar.gdb";

// Script arguments...

var Modelo_Digital_de_Elevação = WScript.Arguments.item(0);

var Edificio = WScript.Arguments.item(1);

var Solar_superficie = WScript.Arguments.item(2);

if (Solar_superficie == "#"){

    Solar_superficie = "C:\\Solar.gdb\\SolarAno"; // provide a default value if unspecified

}

var Solar_Edificio = WScript.Arguments.item(3);

var Painel_Solar_Fotovoltaico = WScript.Arguments.item(4);

var Área__m2_ = WScript.Arguments.item(5);

if (Área__m2_ == "#"){

    Área__m2_ = "0"; // provide a default value if unspecified

}

var Janeiro__Difusa_ = WScript.Arguments.item(6);

if (Janeiro__Difusa_ == "#"){

    Janeiro__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified

}

var Janeiro__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(7);

if (Janeiro__Transmissividade_ == "#"){

    Janeiro__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified

}

var Fevereiro__Difusa_ = WScript.Arguments.item(8);

```

```

if (Fevereiro__Difusa_ == "#"){
    Fevereiro__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified
}

var Fevereiro__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(9);
if (Fevereiro__Transmissividade_ == "#"){
    Fevereiro__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified
}

var Março__Difusa_ = WScript.Arguments.item(10);
if (Março__Difusa_ == "#"){
    Março__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified
}

var Março__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(11);
if (Março__Transmissividade_ == "#"){
    Março__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified
}

var Abril__Difusa_ = WScript.Arguments.item(12);
if (Abril__Difusa_ == "#"){
    Abril__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified
}

var Abril__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(13);
if (Abril__Transmissividade_ == "#"){
    Abril__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified
}

var Maio__Difusa_ = WScript.Arguments.item(14);
if (Maio__Difusa_ == "#"){
    Maio__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified
}

```



```

var Maio__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(15);
if (Maio__Transmissividade_ == "#"){
    Maio__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified
}

var Junho__Difusa_ = WScript.Arguments.item(16);
if (Junho__Difusa_ == "#"){
    Junho__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified
}

var Junho__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(17);
if (Junho__Transmissividade_ == "#"){
    Junho__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified
}

var Julho__Difusa_ = WScript.Arguments.item(18);
if (Julho__Difusa_ == "#"){
    Julho__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified
}

var Julho__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(19);
if (Julho__Transmissividade_ == "#"){
    Julho__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified
}

var Agosto__Difusa_ = WScript.Arguments.item(20);
if (Agosto__Difusa_ == "#"){
    Agosto__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified
}

var Agosto__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(21);
if (Agosto__Transmissividade_ == "#"){
    Agosto__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified
}

```

```

}

var Setembro__Difusa_ = WScript.Arguments.item(22);

if (Setembro__Difusa_ == "#"){

    Setembro__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified

}

var Setembro__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(23);

if (Setembro__Transmissividade_ == "#"){

    Setembro__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified

}

var Outubro__Difusa_ = WScript.Arguments.item(24);

if (Outubro__Difusa_ == "#"){

    Outubro__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified

}

var Outubro__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(25);

if (Outubro__Transmissividade_ == "#"){

    Outubro__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified

}

var Novembro__Difusa_ = WScript.Arguments.item(26);

if (Novembro__Difusa_ == "#"){

    Novembro__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified

}

var Novembro__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(27);

if (Novembro__Transmissividade_ == "#"){

    Novembro__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified

}

var Dezembro__Difusa_ = WScript.Arguments.item(28);

if (Dezembro__Difusa_ == "#"){

```

```

Dezembro__Difusa_ = "0,3"; // provide a default value if unspecified
}

var Dezembro__Transmissividade_ = WScript.Arguments.item(29);
if (Dezembro__Transmissividade_ == "#"){
    Dezembro__Transmissividade_ = "0,5"; // provide a default value if unspecified
}

// Local variables...

var Input_raster_or_constant_value_2 = "0,000001";
var Weighte_Area1 = "C:\\Solar.gdb\\Weighte_Area1";
var Fev = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida1";
var Output_direct_radiation_raster__2_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__2_ = "";
var Output_direct_duration_raster__2_ = "";
var Mar = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida2";
var Output_direct_radiation_raster__4_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__4_ = "";
var Output_direct_duration_raster__4_ = "";
var Abril = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida3";
var Output_direct_radiation_raster__5_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__5_ = "";
var Output_direct_duration_raster__5_ = "";
var Maio = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida4";
var Output_direct_radiation_raster__6_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__6_ = "";
var Output_direct_duration_raster__6_ = "";
var Junho = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida5";
var Output_direct_radiation_raster__7_ = "";

```

```

var Output_diffuse_radiation_raster__7_ = "";
var Output_direct_duration_raster__7_ = "";
var Julho = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida6";
var Output_direct_radiation_raster__8_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__8_ = "";
var Output_direct_duration_raster__8_ = "";
var Agosto = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida7";
var Output_direct_radiation_raster__9_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__9_ = "";
var Output_direct_duration_raster__9_ = "";
var Setembro = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida8";
var Output_direct_radiation_raster__10_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__10_ = "";
var Output_direct_duration_raster__10_ = "";
var Outubro = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida9";
var Output_direct_radiation_raster__11_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__11_ = "";
var Output_direct_duration_raster__11_ = "";
var Novembro = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lid10";
var Output_direct_radiation_raster__12_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__12_ = "";
var Output_direct_duration_raster__12_ = "";
var Dezembro = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lid11";
var Output_direct_radiation_raster__13_ = "";
var Output_diffuse_radiation_raster__13_ = "";
var Output_direct_duration_raster__13_ = "";
var slope_dg = "C:\\Solar.gdb\\Slope_lidar_1";

```

```

var slope_rad = "C:\\Solar.gdb\\Times_Slope_1";
var Input_raster_or_constant_value_2__2_ = "0,017453";
var cos_sloperad = "C:\\Solar.gdb\\Cos_Times_S11";
var area_incl = "C:\\Solar.gdb\\Divide_1";
var Input_raster_or_constant_value_1 = "1";
var MWhm2_pixel = "C:\\Solar.gdb\\Times_SolarA1";
var mwhm2_px_Ed = "C:\\Solar.gdb\\Extract_Time1";
var mwhm2_px_tlh = "C:\\Solar.gdb\\Con_Int_Plus1";
var slope_dgint = "C:\\Solar.gdb\\Int_Plus_Slo1";
var areain_px_tlh = "C:\\Solar.gdb\\Con_Con_Int_1";
var Zonal_EnergEdif = "C:\\Solar.gdb\\ZonalSt_shp1";
var Zonal_AreainEdif = "C:\\Solar.gdb\\ZonalSt_shp2";
var Edificios_shp__2_ = "";
var Edif_sup10m2_top_final = "";
var Edif_sup10m2_top__4_ = "";
var Edif_sup10m2_top__5_ = "";
var Plus_slope_d1 = "C:\\Solar.gdb\\Plus_Slope_11";
var Input_raster_or_constant_value_2__3_ = "0,5";
var Edificios_shp__6_ = "";
var Edificios_shp__3_ = "";
var Jan = "C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lid12";
var Output_direct_radiation_raster = "";
var Output_diffuse_radiation_raster = "";
var Output_direct_duration_raster = "";
var Edificios_Select_shp = "";
var Edif_shp = "";
var px_1_68_PV = "C:\\Solar.gdb\\Reclass_Con_1";

```

```

var Areas_sup168Mwhm2_shp = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1";
var AreasCut_sup168_edif_shp = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var AreasCut_sup168_edif_shp__3_ = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var ZonalSt_RasterT1 = "C:\\Solar.gdb\\ZonalSt_RasterT1";
var zonalst_areasinc = "C:\\Solar.gdb\\ZonalSt_RasterT2";
var AreasCut_sup168_edif_shp__4_ = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var AreasCut_sup168_edif_shp__5_ = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var RasterT_Reclass1_Intersect_S__2_ = "";
var AreasCut_sup168_edif_shp__6_ = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var RasterT_Reclass1_Intersect_S1 = "";
var AreasCut_sup168_edif_shp__7_ = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var RasterT_Reclass1_Intersect = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var RasterT_Reclass1_Intersect__3_ = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var RasterT_Reclass1_Intersect__4_ = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var RasterT_Reclass1_Intersect__2_ = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";
var RasterT_Reclass1_Intersect__5_ = "C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1_Intersect";

// Process: Area Solar Radiation (2)...

gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Fev, "38,43", "200",
"MultiDays 2010 32 59", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM", "32",
"8", "8", "UNIFORM_SKY", Fevereiro__Difusa_, Fevereiro__Transmissividade_,
Output_direct_radiation_raster__2_, Output_diffuse_radiation_raster__2_,
Output_direct_duration_raster__2_);

// Process: Area Solar Radiation (4)...

gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Mar, "38,43", "200",
"MultiDays 2010 60 90", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM", "32",
"8", "8", "UNIFORM_SKY", Março__Difusa_, Março__Transmissividade_,
Output_direct_radiation_raster__4_, Output_diffuse_radiation_raster__4_,
Output_direct_duration_raster__4_);

// Process: Area Solar Radiation (5)...

gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Abril, "38,43", "200",
"MultiDays 2010 91 120", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM",

```

```
"32", "8", "8", "UNIFORM_SKY", Abril__Difusa_, Abril__Transmissividade_,  
Output_direct_radiation_raster__5_, Output_diffuse_radiation_raster__5_,  
Output_direct_duration_raster__5_);
```

```
// Process: Area Solar Radiation (6)...
```

```
gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Maio, "38,43", "200",  
"MultiDays 2010 121 151", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM",  
"32", "8", "8", "UNIFORM_SKY", Maio__Difusa_, Maio__Transmissividade_,  
Output_direct_radiation_raster__6_, Output_diffuse_radiation_raster__6_,  
Output_direct_duration_raster__6_);
```

```
// Process: Area Solar Radiation (7)...
```

```
gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Junho, "38,43", "200",  
"MultiDays 2010 152 181", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM",  
"32", "8", "8", "UNIFORM_SKY", Junho__Difusa_, Junho__Transmissividade_,  
Output_direct_radiation_raster__7_, Output_diffuse_radiation_raster__7_,  
Output_direct_duration_raster__7_);
```

```
// Process: Area Solar Radiation (8)...
```

```
gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Julho, "38,43", "200",  
"MultiDays 2010 182 212", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM",  
"32", "8", "8", "UNIFORM_SKY", Julho__Difusa_, Julho__Transmissividade_,  
Output_direct_radiation_raster__8_, Output_diffuse_radiation_raster__8_,  
Output_direct_duration_raster__8_);
```

```
// Process: Area Solar Radiation (9)...
```

```
gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Agosto, "38,43", "200",  
"MultiDays 2010 213 243", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM",  
"32", "8", "8", "UNIFORM_SKY", Agosto__Difusa_, Agosto__Transmissividade_,  
Output_direct_radiation_raster__9_, Output_diffuse_radiation_raster__9_,  
Output_direct_duration_raster__9_);
```

```
// Process: Area Solar Radiation (10)...
```

```
gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Setembro, "38,43", "200",  
"MultiDays 2010 244 273", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM",  
"32", "8", "8", "UNIFORM_SKY", Setembro__Difusa_,  
Setembro__Transmissividade_, Output_direct_radiation_raster__10_,  
Output_diffuse_radiation_raster__10_, Output_direct_duration_raster__10_);
```

```
// Process: Area Solar Radiation (11)...
```

```
gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Outubro, "38,43", "200",  
"MultiDays 2010 274 304", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM",
```

```
"32", "8", "8", "UNIFORM_SKY", Outubro__Difusa_, Outubro__Transmissividade_,  
Output_direct_radiation_raster__11_, Output_diffuse_radiation_raster__11_,  
Output_direct_duration_raster__11_);
```

```
// Process: Area Solar Radiation (12)...
```

```
gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Novembro, "38,43", "200",  
"MultiDays 2010 305 334", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM",  
"32", "8", "8", "UNIFORM_SKY", Novembro__Difusa_,  
Novembro__Transmissividade_, Output_direct_radiation_raster__12_,  
Output_diffuse_radiation_raster__12_, Output_direct_duration_raster__12_);
```

```
// Process: Area Solar Radiation (13)...
```

```
gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Dezembro, "38,43", "200",  
"MultiDays 2010 335 365", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM",  
"32", "8", "8", "UNIFORM_SKY", Dezembro__Difusa_,  
Dezembro__Transmissividade_, Output_direct_radiation_raster__13_,  
Output_diffuse_radiation_raster__13_, Output_direct_duration_raster__13_);
```

```
// Process: Area Solar Radiation...
```

```
gp.AreaSolarRadiation_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, Jan, "45", "200", "MultiDays  
2010 1 31", "14", "0,5", "NOINTERVAL", "1", "FROM_DEM", "32", "8", "8",  
"UNIFORM_SKY", Janeiro__Difusa_, Janeiro__Transmissividade_,  
Output_direct_radiation_raster, Output_diffuse_radiation_raster,  
Output_direct_duration_raster);
```

```
// Process: Slope...
```

```
gp.Slope_sa(Modelo_Digital_de_Elevação, slope_dg, "DEGREE", "1");
```

```
// Process: Plus...
```

```
gp.Plus_sa(slope_dg, Input_raster_or_constant_value_2__3_, Plus_slope_d1);
```

```
// Process: Int...
```

```
gp.Int_3d(Plus_slope_d1, slope_dgint);
```

```
// Process: Weighted Sum (2)...
```

```
gp.WeightedSum_sa("C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lid12 VALUE  
1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida1 VALUE 1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida2 VALUE  
1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida3 VALUE 1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida4 VALUE  
1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida5 VALUE 1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida6 VALUE  
1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida7 VALUE 1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida8 VALUE  
1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lida9 VALUE 1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lid10 VALUE  
1;C:\\Solar.gdb\\AreaSol_lid11 VALUE 1", Weighted_Area1);
```



```

// Process: Times...

gp.Times_sa(Weighte_Area1, Input_raster_or_constant_value_2, Solar_superficie);

// Process: Times (2)...

gp.Times_sa(slope_dg, Input_raster_or_constant_value_2__2_, slope_rad);

// Process: Cos...

gp.Cos_sa(slope_rad, cos_sloperad);

// Process: Divide...

gp.Divide_sa(Input_raster_or_constant_value_1, cos_sloperad, area_incl);

// Process: Times (3)...

gp.Times_sa(Solar_superficie, area_incl, MWhm2_pixel);

// Process: Extract by Mask...

gp.ExtractByMask_sa(MWhm2_pixel, Edificio, mwhm2_px_Ed);

// Process: Con...

gp.Con_sa(slope_dgint, mwhm2_px_Ed, mwhm2_px_tlh, "", "\"VALUE\" <= 45");

// Process: Zonal Statistics as Table...

gp.ZonalStatisticsAsTable_sa(Edificio, "", mwhm2_px_tlh, Zonal_EnergEdif,
"DATA");

// Process: Join Field...

gp.JoinField_management(Edificio, "Id", Zonal_EnergEdif, "VALUE", "SUM");

// Process: Con (2)...

gp.Con_sa(mwhm2_px_tlh, area_incl, areain_px_tlh, "", "");

// Process: Zonal Statistics as Table (2)...

gp.ZonalStatisticsAsTable_sa(Edificio, "", areain_px_tlh, Zonal_AreainEdif, "DATA");

// Process: Join Field (2)...

gp.JoinField_management(Edificios_shp__2_, "Id", Zonal_AreainEdif, "VALUE",
"SUM");

```

```

// Process: Add Field...

gp.AddField_management(Edificio, "MWh_Edif", "DOUBLE", "", "", "", "",
"NON_NULLABLE", "NON_REQUIRED", "");

// Process: Add Field (4)...

gp.AddField_management(Edif_sup10m2_top_final, "AreaInclEf", "DOUBLE", "", "",
"", "", "NON_NULLABLE", "NON_REQUIRED", "");

// Process: Calculate Field (4)...

gp.CalculateField_management(Edificios_shp__6_, "AreaInclEf", "[SUM_1]", "VB",
"");

// Process: Select...

gp.Select_analysis(Edif_sup10m2_top_final, Solar_Edificio, "\"SUM\" > 0 AND
\"SUM_1\" > 0");

// Process: Calculate Field...

gp.CalculateField_management(Solar_Edificio, "MWh_Edif", "[SUM]/ [SUM_1]",
"VB", "");

// Process: Delete Field...

gp.DeleteField_management(Edif_sup10m2_top__5_, "SUM;SUM_1");

// Process: Delete Field (2)...

gp.DeleteField_management(Edif_sup10m2_top__4_,
"SUM;SUM_1;MWh_Edif;AreaInclEf");

// Process: Reclassify...

gp.Reclassify_3d(mwhm2_px_tlh, "Value", "0 1,6799999999999999
NODATA;1,6799999999999999 2,5517411231994629 1", px_1_68_PV, "DATA");

// Process: Raster to Polygon...

gp.RasterToPolygon_conversion(px_1_68_PV, Areas_sup168Mwhm2_shp,
"NO_SIMPLIFY", "VALUE");

// Process: Intersect...

gp.Intersect_analysis("C:\\Solar.gdb\\RasterT_Reclass1 #;# #",
AreasCut_sup168_edif_shp, "ALL", "", "INPUT");

// Process: Add Field (7)...

```

```
gp.AddField_management(AreasCut_sup168_edif_shp, "IDAreaREI", "LONG", "", "",  
"", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "");
```

```
// Process: Calculate Field (2)...
```

```
gp.CalculateField_management(RasterT_Reclass1_Intersect, "IDAreaREI", "rec",  
"VB", "Static rec As double
```

```
Dim pStart As double
```

```
Dim pInterval As double
```

```
pStart = 1
```

```
pInterval = 1
```

```
If (rec = 0) Then
```

```
rec = pStart
```

```
Else
```

```
rec = rec + pInterval
```

```
End If
```

```
");
```

```
// Process: Zonal Statistics as Table (3)...
```

```
gp.ZonalStatisticsAsTable_sa(AreasCut_sup168_edif_shp__3_, "IDAreaREI",  
mwhm2_px_tlh, ZonalSt_RasterT1, "DATA");
```

```
// Process: Zonal Statistics as Table (4)...
```

```
gp.ZonalStatisticsAsTable_sa(AreasCut_sup168_edif_shp__3_, "IDAreaREI",  
areain_px_tlh, zonalst_areasinc, "DATA");
```

```
// Process: Join Field (3)...
```

```
gp.JoinField_management(AreasCut_sup168_edif_shp__3_, "IDAreaREI",  
ZonalSt_RasterT1, "VALUE", "SUM");
```

```
// Process: Join Field (4)...
```

```
gp.JoinField_management(AreasCut_sup168_edif_shp__3_, "IDAreaREI",  
zonalst_areasinc, "VALUE", "SUM");
```

```
// Process: Add Field (2)...
```

```
gp.AddField_management(AreasCut_sup168_edif_shp__5_, "MWh_PV", "DOUBLE",  
"", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "");
```

// Process: Add Field (5)...

```
gp.AddField_management(RasterT_Reclass1_Intersect__3_, "areaMin", "DOUBLE",  
"", "", "", "", "NULLABLE", "REQUIRED", "");
```

// Process: Calculate Field (6)...

```
gp.CalculateField_management(RasterT_Reclass1_Intersect__2_, "areaMin",  
Área__m2_, "VB", "");
```

// Process: Add Field (3)...

```
gp.AddField_management(RasterT_Reclass1_Intersect__3_, "AreaIncPV",  
"DOUBLE", "", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "");
```

// Process: Calculate Field (5)...

```
gp.CalculateField_management(RasterT_Reclass1_Intersect__4_, "AreaIncPV",  
"[SUM_1]", "VB", "");
```

// Process: Select (2)...

```
gp.Select_analysis(RasterT_Reclass1_Intersect__5_, Paine1_Solar_Fotovoltaico,  
"\"SUM_1\" >= areaMin");
```

// Process: Calculate Field (3)...

```
gp.CalculateField_management(Paine1_Solar_Fotovoltaico, "MWh_PV", "[SUM]/  
[SUM_1]", "VB", "");
```

// Process: Delete Field (5)...

```
gp.DeleteField_management(AreasCut_sup168_edif_shp__5_, "SUM;SUM_1");
```

// Process: Delete Field (6)...

```
gp.DeleteField_management(RasterT_Reclass1_Intersect_S__2_,  
"GRIDCODE;IDAreaREI;SUM;areaMin;SUM_1");
```